

VEER: UM ALGORITMO DE SELEÇÃO DE PARES EM REDES AD HOC
VEICULARES

Sávio Rodrigues Cavalcanti

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS
EM ENGENHARIA ELÉTRICA.

Aprovada por:

Prof. Luís Henrique Maciel Kosmowski Costa, Dr.

Prof. Otto Carlos Muniz Bandeira Duarte, Dr. Ing.

Prof. Marcelo Gonçalves Rubinstein, Dr.

Prof. Dorgival Olavo Guedes Neto, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2008

CAVALCANTI, SÁVIO RODRIGUES

VEER: Um Algoritmo de Seleção de Pares
em Redes Ad Hoc Veiculares[Rio de Janeiro]
2008

XIII, 69 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc.,
Engenharia Elétrica, 2008)

Dissertação - Universidade Federal do Rio
de Janeiro, COPPE

1. Redes Ad Hoc Veiculares
2. Sistemas par-a-par
3. Seleção de Pares

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

A minha família, meus pais e meu irmão.

Agradecimentos

A minha esposa, Luciana, pelo amor, apoio e incentivo. Aos meus pais, Sylvio e Sália, por tudo que fizeram por mim durante minha vida, permitindo que eu atingisse e suplantasse essa etapa. Ao meu irmão, Sylvio, pela amizade e apoio sempre. Ao Luan e Yasmin pela compreensão, carinho e amizade.

Ao meu Orientador, Luís Henrique, pela amizade, confiança, paciência e orientação.

Aos professores do GTA, Otto, Luís Henrique, Rezende, Aloysio e Leão, pelos valiosos ensinamentos transmitidos.

Ao amigo Miguel pelo apoio e sugestões na execução de artigos acadêmicos.

Aos Oficiais Rodrigo Cerveira, Natanael e André pelos conselhos e apoio.

A toda equipe do GTA, em especial à Carina, Marcel, Reinaldo, Natália, Igor, Danilo, Kleber, Carlos Henrique, Raphael, Rafael e Marcelo pela amizade e incentivo.

Aos professores Otto, Marcelo Rubinstein e Dorgival Guedes pela presença na banca examinadora.

Aos funcionários do Programa de Engenharia Elétrica da COPPE/UFRJ pela presteza no atendimento na secretaria do Programa.

À Marinha do Brasil pela oportunidade oferecida para desenvolvimento deste trabalho.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

VEER: UM ALGORITMO DE SELEÇÃO DE PARES EM REDES AD HOC
VEICULARES

Sávio Rodrigues Cavalcanti

Março/2008

Orientador: Luís Henrique Maciel Kosmowski Costa

Programa: Engenharia Elétrica

VANETs são redes ad hoc veiculares nas quais os nós são veículos automotores que apresentam alta mobilidade e trajetórias bem definidas. Neste contexto, aplicações vêm sendo propostas para este novo cenário em busca da ubiquidade de acesso. Entre as aplicações, destacam-se sistemas par-a-par (P2P) por não dependerem de uma entidade central e serem escaláveis quanto ao número de participantes. Neste trabalho, é apresentado o Veer, um algoritmo de seleção de nós para troca de arquivos em sistemas par-a-par (P2P) em VANETs. Ao contrário das soluções existentes, que consideram uma rede veicular como uma simples rede móvel ad hoc, o Veer baseia-se nos padrões individuais de mobilidade dos veículos e nas trajetórias específicas dos nós. No Veer, a transferência do arquivo é agendada para o intervalo de tempo em que dois nós se encontram, evitando transferências em comunicações por múltiplos saltos, reduzindo regiões de disputa e aumentando a capacidade global da rede. Foi mostrado, por meio de simulação, que a utilização de um mecanismo oportunístico de transferência por um salto apresenta melhores resultados que uma transferência em múltiplos saltos. Visando apoiar a simulação, foi verificada, por meio de experimentos reais, a capacidade de conexões entre veículos utilizando equipamentos facilmente encontrados no comércio.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

VEER: A PEER SELECTION ALGORITHM FOR VEHICULAR AD HOC
NETWORKS

Sávio Rodrigues Cavalcanti

March/2008

Advisor: Luís Henrique Maciel Kosmowski Costa

Department: Electrical Engineering

Vehicular Ad hoc NETWORKS (VANETs) are mobile networks where the nodes are vehicles with high mobility and well defined trajectories. To reach the ubiquity of access, different applications have been proposed for this novel scenario. Among these applications, peer-to-peer systems (P2P) are emphasized for their independence of a centralized entity. This work introduces Veer, a peer selection algorithm for vehicular ad hoc networks running peer-to-peer file exchange applications. Contrary to existing approaches that basically consider vehicular networks as ordinary mobile ad hoc networks, Veer relies on the individual mobility patterns of the vehicles and their well defined trajectories. In Veer, replies are only sent by peers that share part of their trajectories with the requesting node. The file transfer is then scheduled to the time interval when vehicles meet. In this way, Veer avoids multi-hop file transfers, thus reducing contention areas and increasing the global capacity of the network. We show through extensive simulation that using such an opportunistic one-hop transfer mechanism gives better results than multi-hop file transfers. In order to support our simulation results, we show through real experiments the capacity of car-to-car links with off-the-shelf hardware.

Sumário

Resumo	v
Abstract	vi
Lista de Figuras	x
Lista de Acrônimos	xii
1 Introdução	1
1.1 Desafios	6
1.2 Motivação	7
1.3 Objetivos	8
1.4 Contribuições	9
1.5 Organização	9
2 Trabalhos Relacionados	11
2.1 Aplicações Par-a-Par	11
2.2 WAVE	13
2.3 MANETs e VANETs	15
2.4 Protocolos de Roteamento	16

2.5	Seleção de Pares	18
3	Veer: Seleção de Pares por Interseção de Trajetórias	21
3.1	<i>Car-to-Car</i> com compartilhamento de conteúdo	21
3.2	Veer	25
3.2.1	Seleção de pares no Veer	28
	Descrição do Algoritmo	31
4	Simulações	34
4.1	Ambiente de simulação	34
4.1.1	Implementações realizadas no NS-2	35
	Ameise	36
	ALL-MHop	37
	FIRST-MHop	38
4.1.2	Cenário e mobilidade dos nós	39
4.1.3	Configuração dos nós no sistema C2C-CS	41
4.1.4	Rodadas	42
4.2	Resultados	42
4.2.1	Métricas utilizadas	42
4.2.2	Ameise X ALL-MHop	43
	Cenário com 3 arquivos	44
	Cenário com 6 arquivos	47
4.2.3	Ameise X FIRST-MHop	50
	Cenário com 6 arquivos	52

4.3	Resultados experimentais	57
5	Conclusões	60
5.1	Trabalhos Futuros	62
	Referências Bibliográficas	64

Lista de Figuras

1.1	Cenário de uma rede veicular reproduzida do <i>Car-to-Car consortium</i>	3
2.1	Canais disponíveis para o IEEE 802.11p.	14
3.1	Procedimento de busca por difusão da mensagem <i>query</i>	22
3.2	Procedimento de resposta por meio da mensagem <i>queryhit</i>	24
3.3	Seqüência dos procedimentos para os protocolos definidos.	26
3.4	Fluxograma do nó ao receber uma <i>query</i>	29
3.5	Fluxograma do nó ao receber uma <i>queryhit</i>	30
3.6	Veer: seleção de pares.	32
4.1	Cenário do Ghost.	39
4.2	Tela de configuração do Ghost.	40
4.3	Taxa de entrega no cenário com 3 arquivos disponibilizados por nó.	44
4.4	Cenários com 3 arquivos disponibilizados por nó.	45
4.5	Taxa de entrega no cenário com 6 arquivos disponibilizados por nó.	47
4.6	Cenário com 6 arquivos disponibilizados por nó.	49
4.7	Média de arquivos entregues por tamanho.	51
4.8	Taxa de entrega no cenário com 6 arquivos disponibilizados.	52

4.9	Cenário com 6 arquivos disponibilizados.	54
4.10	Média de arquivos entregues por tamanho.	56
4.11	Visão do satélite da rua de 400 metros usada para o experimento. Foto reproduzida do GoogleEarth.	58

Lista de Acrônimos

AC :	<i>Access Channel;</i>
AODV :	<i>Ad hoc On-demand Distance Vector;</i>
C2C :	<i>Car-to-Car;</i>
C2C-CS :	<i>Car-to-Car - Content Share;</i>
C2R :	<i>Car-to-Roadside;</i>
CCH :	<i>Control CHannel;</i>
DARPA :	<i>Defense Advanced Research Project Agency;</i>
DSDV :	<i>Destination-Sequenced Distance Vector;</i>
DSRC :	<i>Dedicated Short-Range Communication;</i>
EDCA :	<i>Enhanced Distributed Channel Access;</i>
FCC :	<i>Federal Communication Commission;</i>
FTP :	<i>File Transfer Protocol;</i>
GAMER :	<i>Geocast Adaptive Mesh Environment for Routing;</i>
GPS :	<i>Global Positioning System;</i>
GPSR :	<i>Greedy Perimeter Stateless Routing;</i>
IEEE :	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers;</i>
ITS :	<i>Intelligent Transportation Systems;</i>
IVC :	<i>InterVehicular Communication;</i>
LBM :	<i>Location-Based Multicast;</i>
LPG :	<i>Local Peer Group;</i>
MANET :	<i>Mobile Ad hoc NETwork;</i>
MOPR :	<i>MOvement Prediction based Routing;</i>
MORA :	<i>MOvement-based Routing Algorithm;</i>

NS : *Network Simulator;*
OLSR : *Optimized Link State Routing;*
P2P : *Par-a-Par ou Peer-to-Peer;*
RREQ : *Route REQuest;*
RVC : *Road-Vehicle Communication;*
SCH : *Service Channel;*
TCP : *Transfer Control Protocol;*
TTL : *Time To Live;*
UDP : *User Datagram Protocol;*
V2V : *Vehicular-to-Vehicular communication;*
V2I : *Vehicular-to-Infrastructure communication;*
VANET : *Vehicular Ad hoc NETwork;*
VINT : *Virtual InterNetwork Testbed;*
WAVE : *Wireless Access in Vehicular Environments.*

Capítulo 1

Introdução

A S siste-se hoje a uma demanda crescente por ubiquidade de acesso à Internet. Os usuários desejam permanecer em rede onde quer que estejam e a qualquer momento. Nessa direção, as redes sem fio desempenham um papel fundamental, já que são beneficiadas pela sua principal característica: transmissão natural por radiodifusão. Por meio das redes sem fio, usuários podem se conectar em locais que vão desde residências e ambientes de trabalho até veículos automotores. Esse último cenário, em especial, vem recebendo bastante atenção nos últimos anos devido aos seus desafios e às suas inúmeras aplicações. Além disso, a quantidade crescente de dispositivos eletrônicos que podem ser embarcados em veículos automotores, como DVD, TV, GPS e telefone celular, fazem com que os veículos deixem de ser apenas um meio de transporte e passem a ser uma rede de serviços e entretenimento. As redes sem fio entre veículos são conhecidas por redes *ad hoc* veiculares (*Vehicular Ad hoc NETWORKS* - VANETs), conforme ilustração da Figura 1.1. Esta figura ilustra um cenário de rede veicular do projeto Car-to-Car [1], no qual é possível observar veículos equipados com interfaces sem fio se comunicarem entre si e, eventualmente, com equipamentos de uma infra-estrutura fixa, como por exemplo, pontos de acesso instalados em postes e sinais de trânsito. Essas redes recebem esse nome uma vez que não há elementos centralizadores, como no padrão IEEE 802.11 operando em modo *Ad Hoc* [2].

As redes *ad hoc* veiculares, ou VANETs, são um caso especial das redes móveis *ad hoc* (*Mobile Ad hoc NETWORKS* - MANETs [3]), diferenciadas apenas na natureza dos nós

que as compõem. VANETs são compostas de veículos automotores com um dispositivo de comunicação sem fio embarcado que possuem a capacidade de se comunicarem entre si ou com equipamentos fixos posicionados à margem das ruas e/ou estradas. Os veículos automotores podem ser exemplificados como carros, caminhões, ônibus ou qualquer outro tipo de veículo que contenha em si mesmo os meios de propulsão. Estes veículos, juntamente com os equipamentos fixos posicionados no entorno das vias, são os nós das VANETs.

O interesse deste trabalho em VANETs vem do fato destas redes serem uma realidade iminente [4] e, possivelmente, em um futuro próximo, todos os veículos sejam equipados com os dispositivos de conectividade sem fio. Já são vendidos, atualmente, os primeiros veículos equipados com interfaces IEEE 802.11.

Redes veiculares apresentam especificidades e desafios inerentes. A alta mobilidade dos nós, apesar de suas trajetórias serem bem definidas, o dinamismo de cenários e a possibilidade de redes compostas por grandes números de nós são algumas características desafiadoras. A perda de conexão durante a transmissão de dados e o tempo reduzido em que os nós permanecem em regiões de contato são apenas alguns dos desafios. Além disso, não é adequado utilizar protocolos legados das MANETs, uma vez que sua adaptação às redes veiculares apresenta problemas. Cabe aqui ressaltar que em um cenário urbano a densidade de uma VANET pode atingir algo acima de milhares de nós. Teoricamente, nenhum protocolo de roteamento convencional para redes ad hoc pode suportar uma rede com esta quantidade de nós [4].

O fato é que a crescente importância dada a estas redes também pode ser notada pelo interesse de montadoras de veículos, organizações governamentais e a comunidade acadêmica [5] em oferecer serviços para esses novos usuários. Governos e proeminentes corporações lançaram diversos projetos na área [6, 1, 7]. Destes cita-se o Cartalk2000 [6], um projeto europeu com o objetivo de desenvolver, por exemplo, sistemas de assistência ao motorista, baseados em comunicação entre veículos (*Inter-Vehicle Communication — IVC*) ou comunicação V2V (*Vehicle-to-Vehicle*). Aquele projeto conta com o conhecimento e parceria de fabricantes de veículos, indústrias de tecnologia da informação e institutos de pesquisa. Além da comunicação entre veículos (IVC), cabe ressaltar outra

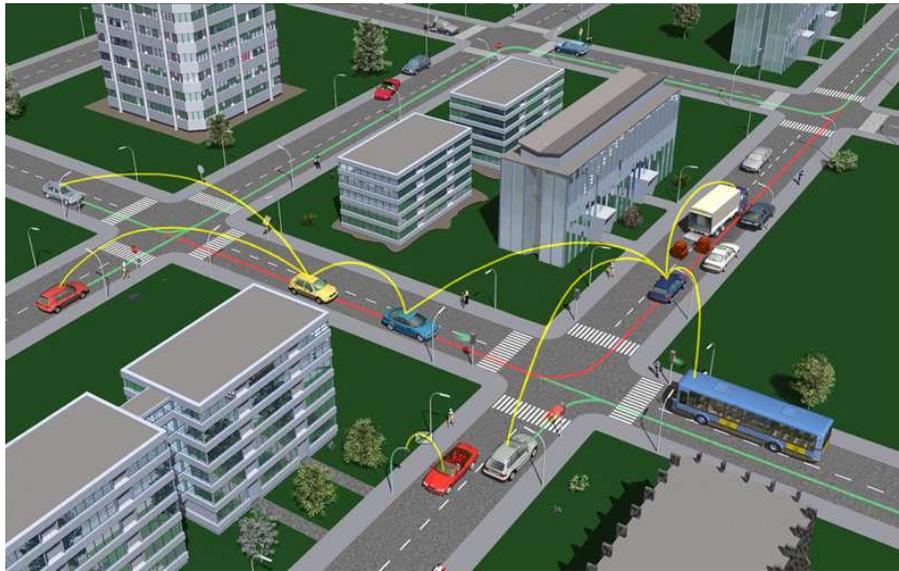


Figura 1.1: Cenário de uma rede veicular reproduzida do *Car-to-Car consortium* (<http://www.car-to-car.org/>).

forma utilizada em redes veiculares, denominada *Road-vehicle Communications - RVC* ou *V2I (Vehicle-to-Infrastructure)*. Essa comunicação é efetuada entre veículos e pontos de acesso posicionados nas vias, possivelmente em sinais de trânsito, postes de iluminação, postos de gasolina e acostamentos, dentre outros.

A variedade de serviços que pode ser oferecida a essa nova demanda, aliada às especificidades das redes veiculares, se traduziram em estudos nas mais diversas áreas de atuação. Como exemplo, o IEEE está desenvolvendo novos padrões tais como *WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments)*, no qual é proposta uma nova família de quatro protocolos dedicados à comunicação entre veículos, denominados IEEE 1609. A comunicação por rádio-frequência no *WAVE*, utiliza *DSRC (Dedicated Short Range Communications)* em 5,9 GHz [8], banda autorizada pelo *FCC (Federal Communication Commission - FCC)* para uso exclusivo de comunicação inter-veículos (*Intervehicular Communications - IVC*) e infra-estrutura-veículo (*Road-Vehicle Communication - RVC*). O padrão IEEE 1609.3, por exemplo, define o serviço e especifica os protocolos da rede e é uma extensão do padrão IEEE 802.11p [9], ainda em desenvolvimento. Cabe ressaltar que a tecnologia de rádio do *DSRC* é essencialmente uma extensão do padrão IEEE 802.11a ajustado para operações com baixo *overhead* no espectro *DSRC*.

As principais aplicações para VANETs podem ser classificadas com enfoque em segurança de trânsito [6], e em conforto [10, 11]. No que se refere a aplicações voltadas para segurança destaca-se a divulgação de informações sobre acidentes, ocorrências no trânsito e condições adversas de ruas e estradas, atendendo diretamente ao condutor. Para essas aplicações, de caráter preventivo e emergencial, o principal desafio é reduzir o tempo de divulgação de notificações, de forma que o condutor possa reagir adequadamente de acordo com o potencial obstáculo, reduzindo a velocidade e estando preparado para o problema. Ressalta-se que essas aplicações não estão no escopo deste trabalho.

Nas aplicações voltadas para conforto, destacam-se sistemas de compartilhamento de conteúdo para troca de arquivos em geral (músicas e filmes), informações turísticas, cardápios de restaurantes ou horários de cinemas e teatros e localização de postos de abastecimentos e alimentação em estradas como alguns exemplos. Nota-se que estas informações não mais estão associadas ao caráter emergencial para prevenção de acidentes, fato que elimina o desafio da sua divulgação em um curto tempo. Em contrapartida, enquanto que para aplicações voltadas para segurança a divulgação era limitada aos nós localizados próximos ao obstáculo, para aplicações de conforto e assistência, as informações estão espalhadas e neste caso o desafio é outro. Esquemas de divulgação e obtenção das informações devem ser implementados para que atinjam a abrangência necessária para o seu funcionamento. Dentre todas as aplicações listadas, tem-se como foco deste trabalho as aplicações voltadas para conforto, especificamente em sistemas de compartilhamento de conteúdo, C2C-CS (*Car-to-Car-Content Share*).

Saindo das redes veiculares e voltando ao mundo das redes cabeadas um dos serviços oferecidos aos usuários da Internet que apresentou um rápido crescimento nos últimos anos é o serviço baseado em sistemas par-a-par (*peer-to-peer* - P2P). Sistemas P2P provêm aplicações cooperativas nas quais os nós participantes podem atuar tanto como cliente quanto como provedores de recursos. A facilidade de adesão e a ausência de custos aparentes são algumas das motivações das aplicações par-a-par. Estas motivações, aliadas a uma arquitetura distribuída não baseada em máquinas servidoras dedicadas, oferecem vantagens como um modelo completamente distribuído, com alta escalabilidade e um baixo custo. Dentre os serviços oferecidos, o mais comum para sistemas P2P é o compartilhamento de conteúdo, visando a troca de arquivos [12].

É possível classificar uma rede P2P quanto à igualdade de funções entre os nós em dois modelos de arquitetura, o *híbrido* e o *puro*. No modelo *híbrido* os nós se mantêm conectados a um servidor central para consultas e informações de conectividade. Já no modelo *puro* o armazenamento e a execução de consultas são feitos de forma distribuída, não prevendo a existência de nenhum serviço centralizado. Outra classificação de redes P2P é quanto à arquitetura utilizada. A arquitetura não-estruturada é aquela na qual a rede P2P se estrutura de maneira menos ordenada e não determinística, desassociando a posição do nó na rede e o conteúdo disponibilizado por ele. Essa organização exige que as buscas sejam efetuadas por inundação. Na arquitetura estruturada, uma estrutura regular é predeterminada e deve ser mantida pela rede, tanto para entradas ou saídas de pares na rede. Ao participar de uma rede estruturada um par recebe uma posição na rede, de forma que não seja violada a estrutura anteriormente definida. Tem-se como exemplo de sistema P2P não-estruturado e puro o Gnutella [13].

A referida busca pela ubiquidade, aliada às vantagens do modelo de comunicação P2P alavancou propostas diversas de adaptações de sistemas P2P, de compartilhamento de conteúdo para o ambiente das redes veiculares. Desta forma, dada a definição de P2P inicial, as especificidades das redes veiculares e a natureza dos nós participantes, é possível configurar uma arquitetura par-a-par para VANETs, que deste ponto em diante será denominada de *Car-to-Car-Content Share* ou C2C-CS. Logo uma C2C-CS, neste trabalho, será classificada como uma rede ad hoc veicular com um sistema *peer-to-peer* (P2P) *puro* e não-estruturado.

Como uma das características fundamentais para o bom funcionamento de um sistema C2C-CS, cita-se a colaboração entre os nós, tanto no processo de entrega de mensagem quanto no armazenamento e disponibilização das informações. É fundamental, então, que se tenha como premissa de um sistema deste tipo que esta cooperação exista por parte de todos os nós participantes. Ressalta-se que estão fora do escopo deste trabalho os aspectos relacionados à segurança da informação [14] e a mecanismos de incentivo à cooperação [15], tipicamente necessários tanto em aplicação P2P quanto em redes *ad hoc*.

O dispositivo de comunicação sem fio embarcado em um veículo automotor pode ter seu sistema transmissor e receptor alimentado por energia provida pelo próprio veículo.

Outra forma de dispositivo sem fio embarcado em um veículo pode ser caracterizada pela presença de um computador portátil. Neste caso, é possível que a energia para este dispositivo seja limitada, caso não esteja dotado de adaptador específico para alimentação de energia em veículos. Dada a natureza de cooperação entre os nós da rede C2C, suspeita-se que estes dispositivos apresentem um alto consumo de energia. Esquemas minimizando o consumo destes equipamentos e mantendo a cooperação entre os nós também são desafios para estes tipos de redes.

1.1 Desafios

A alta mobilidade dos nós, os cenários dinâmicos e as rápidas variações das condições do meio sem fio são os principais geradores de desafios das VANETs. Esse alto dinamismo representa um empecilho para as comunicações, visto que nem sempre o tempo de contato dos veículos é suficientemente grande para estabelecer uma conexão e transferir dados. Define-se como tempo de contato entre dois veículos o tempo em que eles permanecem na região de alcance de comunicação sem fio um do outro.

Trabalhos recentes [16, 17, 18] mostram que é relevante avaliar e considerar desafios dessas redes. As propostas apresentadas vão desde implementar uma infra-estrutura fixa até definir esquemas de agrupamento de nós, visando reduzir a latência de entrega de mensagens para sistemas de segurança. Nandan *et al.* [17], por exemplo, propuseram uma comunicação eficiente para sistemas P2P com disponibilização de conteúdo utilizando um mecanismo de partição dos arquivos disponíveis em pequenos pedaços. Esta partição visa promover uma forma de transferência distribuída, na qual é possível que um nó esteja recebendo dois pedaços distintos do mesmo arquivo de duas fontes distintas e simultaneamente. Cabe ressaltar que em grande parte as propostas visam agilizar o processo de transferência de dados em VANETs e implementam mecanismos específicos para minimizar os problemas gerados pela alta mobilidade dos nós.

No padrão IEEE 802.11, a camada de enlace é responsável por selecionar a taxa de transmissão do meio, o que é feito por meio de um algoritmo de escolha periódica da taxa. Para enviar um quadro, os endereços IP e MAC do destinatário devem ser conhecidos,

usando protocolos como DNS e ARP. O tempo gasto na execução destes mecanismos reduz mais ainda o tempo efetivo de troca de dados entre dois veículos e também se torna um desafio, principalmente em uma comunicação sobre múltiplos saltos.

Outro grande desafio para VANETs é a escolha do protocolo de roteamento. Diversas propostas nesta área têm sido apresentadas, uma vez que estudos mostraram que a adaptação de protocolos MANETs em VANETs não obtém resultados satisfatórios. Conforme Taleb *et al.* [5], apesar de fácil implementação, os protocolos proativos, por exemplo o *Destination-Sequenced Distance-Vector* (DSDV [19]), quando aplicados em redes de nós com alta mobilidade, caso das VANETs, apresentam uma elevada carga de mensagens de controle para manutenção das informações sobre a topologia da rede. Este problema acarretará pesada disputa pelo meio, colisão de pacotes e, conseqüentemente, desperdício de largura de banda.

1.2 Motivação

De acordo com as particularidades e desafios das redes veiculares apresentados na seção anterior, sistemas par-a-par conhecidos em redes cabeadas adaptados a redes veiculares apresentam problemas principalmente com a possibilidade de comunicações sobre múltiplos saltos. Esta particularidade, associada à mobilidade dos nós intermediários da referida comunicação, aumenta as chances de perda de conexões e a necessidade de re-descobrir rotas, tarefa nem sempre simples. Ressalta-se também que a inexistência de um elemento central ou de uma infra-estrutura fixa de comunicação em um tipo de cenário de comunicação veicular, também dificulta o funcionamento de sistemas tradicionais de par-a-par em redes veiculares.

A motivação deste trabalho é reduzir os problemas devidos à comunicação por múltiplos saltos, diminuindo a utilização do protocolo de roteamento, e utilizar a mobilidade dos nós a seu favor na troca de informações. Aumentar o tempo de contato entre dois veículos explorando o fato dos nós apresentarem velocidades e trajetórias limitadas, por exemplo, implicaria na maior possibilidade de troca de arquivos, atividade fim dos sistemas P2P para compartilhamento de conteúdo.

1.3 Objetivos

Um dos objetivos deste trabalho é propor um mecanismo para melhorar o desempenho de uma aplicação P2P em VANETs. Com este intuito, foi proposto um algoritmo de seleção de pares em sistemas par-a-par com compartilhamento de conteúdo para VANETs. Este algoritmo, denominado Veer [20], se adequa tanto à alta mobilidade dos nós quanto ao grande dinamismo dos cenários, características específicas de redes veiculares. Desta forma, outro objetivo desta dissertação foi analisar o desempenho do algoritmo proposto, inspecionando se o Veer proporciona boa escalabilidade quando a quantidade de nós da VANET cresce.

O Veer tem como principal característica selecionar previamente um nó da rede que possui o arquivo desejado, por meio de análise comparativa de trajetórias, ou seja, esta é uma hipótese/restrrição. Desta forma, a transferência de arquivos não será mais sobre comunicações em múltiplos saltos, mas sim realizada entre vizinhos de apenas um salto. Será investigado se esta característica reduz significativamente a probabilidade de perda de conexão e sua conseqüente reconstrução, evitando problemas relacionados com roteamento, como construção e manutenção das rotas.

O desempenho do Veer é analisado e comparado com outros modelos por simulação, utilizando métricas de vazão agregada, taxa de entrega e arquivos entregues por tamanho. Os resultados obtidos mostram que o esquema de comunicações de um salto, utilizado pelo Veer, possui um melhor desempenho que as comunicações por múltiplos saltos. Este fato deve-se ao aumento da probabilidade de entrega de arquivos, atividade fim de um sistema P2P para compartilhamento de conteúdo, se comparado ao algoritmo de encaminhamento de um protocolo de roteamento convencional, reduzindo o desperdício de banda passante da rede.

O outro objetivo deste trabalho é, por meio de medidas reais, mostrar que é possível, utilizando equipamentos facilmente encontrados no mercado, implementar uma VANET para troca de dados. O experimento, efetuado no Campus da UFRJ na Ilha do Governador, visa verificar se é possível efetuar a transferência de dados entre dois nós (veículos), utilizando equipamentos portáteis dentro do veículo.

1.4 Contribuições

A principal contribuição trabalho é apresentar uma solução que visa melhorar o desempenho de uma aplicação P2P em VANETs, por meio de uma redução da comunicação em múltiplos saltos, reduzindo a necessidade da utilização de protocolos de roteamento nestas redes com alta mobilidade. Cabe ressaltar que esta redução minimiza a possibilidade de perda de conexões, antes vivenciada pela transferência de arquivos em possíveis conexões em múltiplos saltos. Isto se deve ao fato do Veer promover esta transferência apenas entre vizinhos de um salto.

Há mais dois pontos a serem ressaltados como contribuições deste trabalho. O primeiro é o fato da operação do algoritmo proposto, Veer, não estar atrelada a nenhum tipo de aplicação de transferência de arquivos para sistemas P2P e nem de um protocolo de roteamento específico. Desta forma, o Veer se adequa a diferentes cenários e aplicações P2P para redes *ad hoc* veiculares. Além disso, o mecanismo não exige a implementação de uma infra-estrutura fixa para o seu funcionamento, sendo implementado em um ambiente distribuído tanto em termos de armazenamento de informações quanto da busca dos arquivos, sendo assim propício para redes veiculares.

Como uma outra contribuição, destaca-se a metodologia de avaliação da proposta. Foi realizada uma análise por simulação complementada com medidas reais de comunicação entre veículos efetuadas no campus da UFRJ (Ilha do Fundão). Estas medidas mostram as verdadeiras possibilidades de contatos entre veículos, em termos de distância máxima entre ambos antes da perda de comunicação.

1.5 Organização

Este trabalho está organizado da seguinte forma. O Capítulo 2 elenca trabalhos relacionados. Os trabalhos foram agrupados pelos seguintes assuntos específicos: trabalhos em sistemas P2P sobre redes *ad hoc*, análise e comparação de protocolos de roteamento e esquemas já existentes para seleção de parceiros em redes veiculares. O Capítulo 3 descreve o funcionamento de um sistema P2P para redes veiculares e em seguida detalha o

algoritmo proposto e suas funcionalidades. O Capítulo 4 apresenta o ambiente e o cenário da simulação. Nesse capítulo descreve-se o funcionamento e as mensagens implementadas no simulador para os modelos que serão comparados e analisados. São descritos também o ambiente usado no processo de simulação, incluindo o modelo de mobilidade utilizado pelos veículos participantes do sistema e os resultados obtidos, juntamente com a sua análise. No Capítulo 5 são apresentadas as conclusões obtidas e os trabalhos futuros.

Capítulo 2

Trabalhos Relacionados

Neste capítulo são apresentados os principais trabalhos relacionados à proposta desta dissertação. Estes trabalhos relacionados estão subdivididos em cinco partes: Aplicações Par-a-Par, Padrão WAVE, MANETs e VANETs, Protocolos de Roteamento e outros algoritmos de seleção de parceiros.

2.1 Aplicações Par-a-Par

O termo par-a-par se refere ao conceito de uma rede formada por nós semelhantes, denominados pares, que ao utilizarem as informações apropriadas e um sistema de comunicação, dois ou mais nós estão aptos a, espontaneamente, colaborar sem a necessidade de um ponto central de coordenação. Contrastado com redes cliente/servidor que definem diferentes papéis para as máquinas clientes e servidor no funcionamento do sistema, as redes P2P são mais escaláveis, apresentam baixo custo de manutenção, são auto-organizáveis, não necessitam de um controle centralizado, são tolerantes a falhas e oferecem suporte para implementação de redes ad hoc [21]. As razões para que este modelo de computação seja atrativo são a escalabilidade destas redes [22], apresentando bom funcionamento tanto para pequenos grupos quanto para grandes grupos de usuários, a independência de um serviço centralizado e de autonomia dos participantes no que se refere ao acesso à rede.

Diversas aplicações são definidas para a arquitetura P2P. Como exemplos, cita-se o compartilhamento de arquivos [13], compartilhamento de ciclos de processador e esquemas de colaboração [21]. Uma das principais características desta aplicação é que pares que obtêm um arquivo como cliente da rede, o disponibilize em seguida assumindo o papel de servidor. Ainda segundo [21], um problema primordial para sistemas P2P, especificamente em aplicações de compartilhamento de arquivos, refere-se ao sistema de busca, apresentando modelos como os de inundação, exemplificado pelo Gnutella [13], no qual a requisição é propagada pelos pares da rede até atingir um número de saltos fixo de propagação, e de diretórios centralizados, como o Napster [23], no qual a busca é executada por meio de um servidor central que contém um registro dos arquivos disponibilizados pelos pares que pertencem à rede.

Modelos P2P também podem acelerar o processo de transferência de grandes arquivos que são simultaneamente solicitados por diferentes pares. É possível que estes arquivos sejam divididos em pequenos blocos. Supondo que alguns pares desejem este arquivo, o par detentor de todos os blocos cederá blocos distintos para pares distintos. Desta divisão, os pares solicitantes agora podem trocar os blocos que não possuem com os demais pares que o receberam, fazendo com que a fonte deixe de ser um “gargalo”. Ao final, o par junta os pequenos blocos recebidos e forma uma cópia exata do arquivo original. Um sistema P2P que utiliza este princípio é o BitTorrent [24].

Redes P2P baseadas na implementação do Gnutella, não apresentam uma autoridade de controle central de gerenciamento. Todos os pares possuem as mesmas funcionalidades e a busca de arquivos é efetuada de acordo com o modelo de inundação. Isto significa que uma solicitação de busca é repassada para uma determinada quantidade de pares por meio de uma mensagem denominada *query*. No caso de um par possuir o arquivo solicitado, este informa ao par requerente, por meio da mensagem *queryhit*, para que este possa efetuar o *download* do arquivo desejado diretamente do par que possui o arquivo. Caso um par não possua o arquivo solicitado ele encaminhará esta solicitação aos seus vizinhos até que esta busca atinja um limite.

Além das mensagens *query* e *queryhit*, definidas anteriormente, são definidas outras mensagens no funcionamento do Gnutella. O *ping* é uma mensagem que serve

para sondagem de outros pares na rede. Esta mensagem não possui campos associados e tem como resposta a mensagem `pong`, que contém o endereço do par que a envia e informações acerca da quantidade de dados que ele compartilha na rede. É possível que pares estejam protegidos por dispositivos denominados *firewall*. Desta forma, define-se uma mensagem, denominada `push`, implementada com o intuito de que um par ao receber uma mensagem `queryhit` de um par que não permita conexões de entrada faça a transferência do arquivo desejado.

Dada esta natureza distribuída, uma rede implementada com o protocolo Gnutella é tolerante a falhas, pois a operação da rede não será interrompida se um conjunto de pares saírem da rede. Neste trabalho, os modelos serão baseados neste protocolo de redes P2P, sendo utilizadas apenas as mensagens `query` e `queryhit`. Este modelo, completamente descentralizado, se aplica melhor ao cenário de VANETs, estudado nesta dissertação, no qual a rede ad hoc veicular não utiliza nenhum tipo de comunicação com uma infra-estrutura fixa e ausência de nós servidores.

2.2 WAVE

Em 1999 a FCC (*Federal Communication Commission*), órgão americano responsável por regulamentar as comunicações daquele país, alocou 75MHz da *Dedicated Short-Range Communication* (DSRC) na faixa de 5.9GHz, exclusivamente para comunicações V2V (*Vehicle-to-Vehicle*) e V2I (*Vehicle-to-Infrastructure*). O propósito inicial visava apenas aplicações de segurança, salvar vidas e melhorar o fluxo de veículos [8].

Nos últimos anos um grupo de trabalho do IEEE está definindo um novo padrão de comunicação, que será utilizado para comunicação veicular na faixa DSRC [25]. Este padrão é denominado WAVE (*Wireless Access in Vehicular Environments*) e utiliza um conceito de múltiplos canais, podendo ser usado tanto para comunicações de segurança quanto para outras aplicações inerentes às redes veiculares, VANETs. O Padrão WAVE em desenvolvimento pelo IEEE é composto por 5 documentos da família IEEE 1609. O documento 1609.0 descreve a arquitetura e os serviços necessários ao WAVE e está em desenvolvimento. O 1609.1 descreve o gerenciamento de recursos (*Resource Manager*),

1609.2 os serviços de segurança para aplicações e mensagens, o 1609.3 descreve os serviços de rede e finalmente o 1609.4 a operação em múltiplos canais e as extensões para o 802.11p. O padrão IEEE 1609 é patrocinado pelo Comitê ITS (*Intelligent Transportation Systems*), comitê que visa a integração de tecnologias de redes na infra-estrutura de sistemas de transporte.

A tecnologia de rádio do WAVE é essencialmente um ajuste do IEEE 802.11a para uma operação com baixo *overhead*. A camada MAC é equivalente ao IEEE 802.11e EDCA (*Enhanced Distributed Channel Access*) com qualidade de serviço.

Para que possam ter o efeito desejado, as mensagens das aplicações voltadas para segurança em redes veiculares devem ser entregues com baixa latência. Em face de outras aplicações, que não as de segurança, compartilharem o meio, o WAVE utiliza múltiplos canais com um esquema de prioridade. A Figura 2.1 apresenta o esquema de múltiplos canais. Em virtude dos canais não serem utilizados simultaneamente, cada estação terá que alternar entre o Canal de Controle (*Control Channel - CCH*) e um dos Canais de Serviço (*Services Channels - SCHs*). O canal 178 (CCH) é geralmente restrito apenas para comunicações de segurança. Os canais de borda, 172 e 184, são reservados para utilização futura e os demais canais são para utilização de aplicações variadas.

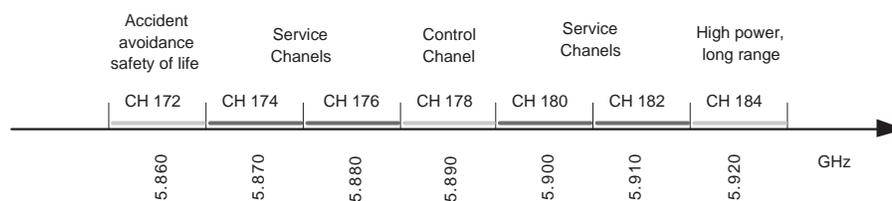


Figura 2.1: Canais disponíveis para o IEEE 802.11p.

O esquema de prioridade das mensagens utiliza diferentes Classes de Acesso (*Access Class - AC*), tendo diferentes configurações para os canais definidos. Foram definidas quatro Classes de Acesso, sendo a AC0 a de prioridade mais baixa e o AC3 a mais alta. Durante a seleção de um pacote para transmissão as quatro Classes de Acesso disputam internamente. O pacote selecionado, então, disputa o canal externamente utilizando os parâmetros específicos de disputa.

Esta operação apresentada deve garantir que uma mensagem de segurança altamente

relevante seja entregue a tempo, mesmo em situações de redes com alta densidade. Outras aplicações não relacionadas com segurança podem ser implementadas sem interferir nas comunicações prioritárias.

2.3 MANETs e VANETs

Ahmed e Shirmohammadi [26] apresentaram os principais desafios na implementação de uma rede P2P para MANETs, mas demonstrando o grande potencial desses sistemas, dado o avanço da computação móvel e a popularidade de dispositivos portáteis. Os autores apresentaram um guia para implementação de um sistema P2P em redes MANETs, e foram discutidos esforços a fim de propor mecanismos nas áreas de arquitetura, endereçamento de conteúdo móvel da rede, métodos de *caching* cooperativo e indexadores dinâmicos. Ao final, os autores recomendaram a implementação de um esquema que reduza a inundação de mensagens na rede e a utilização de um esquema de *hashing* em múltiplos níveis visando reduzir o custo de roteamento e busca. Eles questionaram a implementação de um esquema de *caching* para ambientes sem fio.

Para VANETS, Lee *et al.* [4] compararam um sistema par-a-par para troca de arquivos usado na Internet e adaptado para MANETs em VANETs. Em seguida avaliaram seu desempenho e mostraram que este sistema apresenta problemas no que se refere à quantidade média de *downloads* em redes do tipo *Ad Hoc* com alta mobilidade, exemplo de VANETs. Propuseram então o CodeTorrent, uma adaptação do BitTorrent para redes veiculares. O método proposto caracteriza-se por um protocolo que inunda informações sobre arquivos para sua vizinhança de um salto que serão propagadas por estes a seus vizinhos de um salto e assim por diante. A idéia central é que os nós propaguem estes dados de acordo com interesses comuns. Este trabalho é semelhante ao proposto pelo Veer no que se refere à idéia de transferir dados por vizinhos de apenas um salto. Outro ponto é que o Veer implementa um sistema P2P com arquitetura pura, diferentemente do proposto por Lee *et al.* que definem um nó especial e estático no início da simulação.

Ainda na área de VANETs, Wellens *et al.* [25] apresentaram uma avaliação de desempenho das tecnologias de redes sem fio IEEE 802.11a, b e g para comunicações entre veí-

culos e entre veículos e equipamentos fixos posicionados nas vias, conhecida como C2R (*Car-to-Roadside*). Ott *et al.* [27] fizeram um experimento e utilizaram UDP e TCP para transferência de dados entre veículos equipados com uma antena externa e estações fixas conectadas a um ponto de acesso IEEE802.11b. Os testes foram efetuados em uma estrada alemã. Os autores relataram que a utilização de uma antena externa é requisito para que a comunicação possa ser feita. A velocidade dos veículos variou de 80 a 180 km/h. A proposta dos autores é prover pontos de acesso à Internet, *hot spots*, ao longo de uma via. Para as duas propostas apresentadas, torna-se necessária uma estrutura fixa para prover a comunicação entre os nós. Na proposta apresentada neste trabalho não se considera a presença de nenhum ponto fixo de comunicação.

2.4 Protocolos de Roteamento

Naumov *et al.* [28] avaliaram o desempenho de dois protocolos de roteamento desenvolvidos originalmente para MANETs, o AODV [29], protocolo de roteamento reativo, e GPSR [30], um exemplo de protocolo de roteamento geográfico, em VANETs. Para tal, utilizaram um simulador de cenários de mobilidade sobre mapas regionais suíços. Os autores verificaram que para o AODV em cenários mais densos, houve perda de pacotes de requisição de rota é perdida devido a colisões. Já o GPSR apresentou uma grande inconsistência na sua tabela de informações de vizinhança, que levou uma vazão muito pequena. Ao final concluíram que ambos os protocolos apresentam problemas de desempenho em cenários de cidade, mas tendo o AODV atingido uma taxa de entrega de pacotes maior que o dobro que a taxa obtida pelo GPSR.

Taleb *et al.* [5] mostraram que os protocolos de roteamento legados das MANETs também apresentam alguns problemas quando aplicados a redes veiculares. No caso dos protocolos proativos, uma grande quantidade de mensagens de controle é requerida para manter atualizadas as tabelas de roteamento. Os autores destacaram que para os protocolos reativos, apesar de melhor se adaptarem a cenários nos quais os nós possuem alta mobilidade, a perda de rotas causa excessiva inundação de mensagens para descoberta de novas rotas.

Os dois trabalhos citados embasaram a escolha de se utilizar o protocolo de roteamento AODV nos modelos implementados para a simulação e avaliação deste trabalho.

Protocolos específicos para VANETs também foram propostos. Granelli *et al.* [31] propuseram o MORA, *Movement-Based Routing Algorithm*, um algoritmo distribuído de roteamento baseado na movimentação dos nós. Naquele trabalho, os nós se comunicam apenas com seus nós vizinhos, utilizando uma métrica específica que explora não só o posicionamento dos nós, mas a direção em que eles se movimentam. Neste roteamento baseado no posicionamento, cada nó deve, ao encaminhar a mensagem, tomar a decisão de qual nó deverá selecionar. Esta decisão também leva em conta a direção que o nó está seguindo. A métrica utilizada pelo MORA é uma combinação linear do número de saltos e um 'alvo' funcional, que depende da distância do nó que está encaminhando a mensagem à linha que conecta a origem ao destino. Apesar de não propor nenhum protocolo de roteamento neste trabalho, percebe-se que o MORA é bem semelhante ao que foi aqui proposto no que tange a comunicação entre vizinhos de um salto. Porém, com o Veer o processamento de seleção de pares para transferência do arquivo é efetuado somente no nó requerente. No MORA os nós intermediários devem, além de depender do conhecimento da posição dos outros nós da rede precisam, utilizar processamento e energia para a tomada de decisão distribuída no momento do encaminhamento da mensagem.

Menouar *et al.* [32] propuseram um algoritmo de roteamento para VANETs também baseado na predição de movimentação do nó, denominado MOPR (*MOvement Prediction based Routing*). Ressalta-se que tal algoritmo, semelhante ao que foi proposto pelo Veer, visa a transferência de dados referentes a entretenimento, denominados *infotainment*. Para o funcionamento do MOPR é necessário que cada veículo pertencente à rede conheça localmente toda a movimentação de seus vizinhos (posição, velocidade e direção). A partir de então eles integram este novo conceito ao protocolo de roteamento proativo OLSR (*Optimized Link State Routing* [33]) e por meio de simulação compararam seu desempenho com o OLSR, utilizando as métricas de taxa de entrega de pacotes, retardo, *overhead* de roteamento. Em todas as métricas avaliadas os autores perceberam que os resultados foram semelhantes e ao final, os autores concluíram que esta predição não é simples pelo fato da natureza das redes veiculares apresentarem nós com alta mobilidade.

Em face ao exposto, percebe-se a dificuldade de projetar um protocolo específico para VANETs, além dos problemas de desempenho enfrentados pela comunicação sem fio em múltiplos saltos [2], embasam a escolha pelo método de seleção de pares e comunicação de um salto, proposto nesta dissertação.

2.5 Seleção de Pares

Ducourthial *et al.* [34] propuseram um esquema de transmissões condicionais para roteamento em redes com alta dinamicidade. Estas condições são incluídas na mensagem e somente os nós que preencherem as condições recebidas, ou repassam a mensagem para as camadas superiores, ou a retransmitem ou a descartam. Os autores não especificaram quais condições podem ser utilizadas, podendo, inclusive, utilizar uma combinação delas. É possível que, mesmo utilizando o esquema proposto, existam comunicações por múltiplos saltos. Neste caso, a decisão de retransmissão é tomada pelo nó que recebe a mensagem. É possível também que neste esquema vários nós decidam retransmitir a mensagem, ocasionando colisões. Dentre as condições de seleção exemplificadas, a posição dos nós pode ser utilizada para seleção. Os autores avaliaram o desempenho da proposta por meio de simulação e a compararam com cinco outros protocolos, OLSR, Fast OLSR[35], AODV, LBM (*Location-Based Multicast* [36]) e GAMER (*Geocast Adaptive Mesh Environment for Routing* [37]). A proposta foi implementada no NS-2 como um agente de roteamento e denominado HOP. O ambiente de simulação não previu cenários esparsos e as métricas analisadas foram a entrega de dados ao último veículo do comboio, agrupamento de veículos que trafegam próximos entre si. Ao final concluíram que as simulações efetuadas mostraram um desempenho inferior para o OLSR e Fast OLSR, que pelo fato da topologia de rede ser instável, apresentaram problemas de atualização de tabelas de rotas. O AODV apresentou uma melhor taxa de entrega do que os anteriores, mas é afetado pela distância entre veículos e o LBM e o GAMER apresentam problemas de desempenho devido à mobilidade dos nós, de acordo com sua característica original de entrega de mensagens em áreas específicas. O melhor desempenho quanto à taxa de entrega de dados do HOP, agente implementado, em relação aos cinco apresentados, vem do fato que o esquema proposto não necessita de nenhum conhecimento de sua vizinhança e

nem de mensagens de controle. Apesar de efetuar a seleção de pares para transferência de dados, o esquema proposto não reduz a comunicação por múltiplos saltos, diferentemente do que foi proposto pelo Veer.

Trabalhos na área de serviços voltados para a segurança também propuseram sistemas de seleção de pares para transmissão de informação. No projeto Cartalk 2000 [38] propôs-se sistemas não tolerantes a retardos, visando ao aviso imediato de problemas de tráfego. Os autores exemplificaram um sistema que, ao serem ativadas luzes de emergência de um veículo por motivo de congestionamento, uma mensagem será criada e enviada a todos os veículos posicionados atrás do veículo originador. Ressalta-se que este esquema proposto é semelhante ao proposto nesta dissertação, no que se refere à seleção de pares para transferência de dados. Porém com enfoque na área de segurança e não tolerante a retardos na entrega. Desta forma, a seleção dos destinatários de uma mensagem é feita pela posição geográfica do nó receptor relativamente à posição do nó transmissor no momento do envio.

Chen *et al.* [39] propuseram o *Local Peer Group* - LPG, que é uma arquitetura que visa organizar a vizinhança de veículos em grupos de forma que a latência de comunicação entre os nós da rede dentro dos grupos seja baixa para que sejam divulgadas informações de segurança aos condutores. Esta divisão em grupos visa também permitir que a abrangência e a direção da mensagem sejam controladas, efetuando um tipo de seleção de pares que irão ser alertados sobre emergências, de acordo com sua posição. Duas formas propostas de divisão em grupos são realizadas: estática, utilizando sistemas de localização baseados em GPS e particionando pelo código de endereçamento postal da via; e dinâmica, onde os nós formarão grupos de acordo com sua vizinhança, baseados na cobertura do rádio utilizado. A intenção dos autores ao propor o LPG é diminuir a latência reduzindo ou retirando da rede a utilização de um protocolo de roteamento.

Wisitpongphan *et al.* [40] propuseram um processo de seleção de pares em VANETs esparsas, visando aumentar as chances de, em um sistema de segurança de usuário, um nó conseguir emitir um alerta em tempo adequado. Primeiramente apresentaram o problema de fragmentação da rede, no qual um determinado nó não possui conectividade com nenhum outro nó da rede no momento de transmissão. O método proposto separa a

rede em grupos (*clusters*), de forma que nós dentro do mesmo grupo possuam imediata comunicação e entre grupos distintos somente por meio de nós de borda. Dois nós estarão no mesmo grupo somente se conseguirem comunicação por um salto ou em conexões por múltiplos saltos. O cenário utilizado foi uma estrada de mão dupla com duas faixas e a aplicação voltada para segurança. No estudo por simulação os autores não variaram a velocidade dos nós que participam da rede.

Hoh e Hwang [41] apresentaram dois problemas existentes em um sistema P2P para compartilhamento de conteúdo, denominados *free-rider* e *hot spot*. No primeiro deles, *free-rider*, são os nós que participam do sistema somente para obter de outros nós os arquivos desejados, sem nada disponibilizar. O *hot spot* é caracterizado pelo fenômeno conhecido como 80-20, no qual apenas 20% dos nós compartilham arquivos e 80% dos arquivos disponíveis são encontrados nestes *hot spots*. Diferentemente do que foi proposto na implementação do Veer, no qual o processo de seleção de pares visa a transferência de arquivos e não para a busca, os autores propuseram um esquema de seleção de pares para busca do arquivo. Por meio de tabelas específicas, denominadas tabelas de “feromônios”, um nó ao fazer uma busca de um arquivo, busca dentre seus vizinhos que possuem um valor alto de “feromônios” para o tipo de arquivo que ele está buscando. A atualização desta tabela é efetuada com mensagens de controle enviadas regularmente. Ressalta-se que após a busca, o nó requerente ao receber uma resposta de que o arquivo foi encontrado (*hit*), encontra uma rota para que o arquivo possa ser transferido em uma possível conexão por múltiplos saltos.

Capítulo 3

Veer: Seleção de Pares por Interseção de Trajetórias

Neste capítulo será descrito inicialmente o funcionamento de um sistema *Car-to-Car*, baseado no funcionamento do Gnutella, para compartilhamento de conteúdo em VANET (C2C-CS). Para este sistema é possível haver transferências de arquivos por conexões em múltiplos saltos e ele será usado como base para os protocolos que serão comparados, por meio de simulação, com o Veer. Em seguida será descrito o algoritmo Veer, que implementa a seleção de pares para aplicações P2P em redes *ad hoc* veiculares. O principal objetivo é prover comunicação por apenas um salto entre os nós participantes da rede, reduzindo a necessidade de utilização de um protocolo de roteamento.

3.1 *Car-to-Car* com compartilhamento de conteúdo

Este sistema P2P para compartilhamento de conteúdo, denominado C2C-CS, foi baseado no funcionamento do Gnutella e por este motivo com possíveis transferências de arquivos por conexões de múltiplos saltos. O C2C-CS será utilizado como base para os protocolos de transferência em múltiplos saltos a serem implementados na simulação visando a comparação com o protocolo que implementará o algoritmo Veer. Para este sistema, que será denominado genérico, serão definidos procedimentos e mensagens es-

pecíficos.

A premissa fundamental para o funcionamento do sistema é que um nó ao ingressar terá arquivos compartilhados e arquivos a serem requisitados. Supõe-se que a capacidade de transferência de arquivos não é limitada e que todos os nós agem de forma cooperativa.

Quatro procedimentos são necessários ao funcionamento do sistema P2P: procedimento de busca, procedimento de resposta, procedimento de solicitação de transferência do arquivo e, finalmente, o procedimento de transferência do arquivo. Estes procedimentos têm caráter genérico e também são baseados no funcionamento do Gnutella.

O **procedimento de busca** é iniciado a partir da requisição de um arquivo desejado por um nó, que é denominado Nó Requisitante, aos demais nós participantes do sistema. Dada a natureza da rede, ressalta-se que se trata de um sistema P2P puro, no que se refere ao nível de descentralização dos serviços, inexistindo um serviço centralizado para auxílio na busca de arquivos. Desta forma, todas as requisições são feitas por inundação, pelo simples encaminhamento sucessivo da busca até o alcance de um nó com o arquivo desejado, conforme Figura 3.1, ou até a requisição de busca alcançar o número máximo de saltos definido.

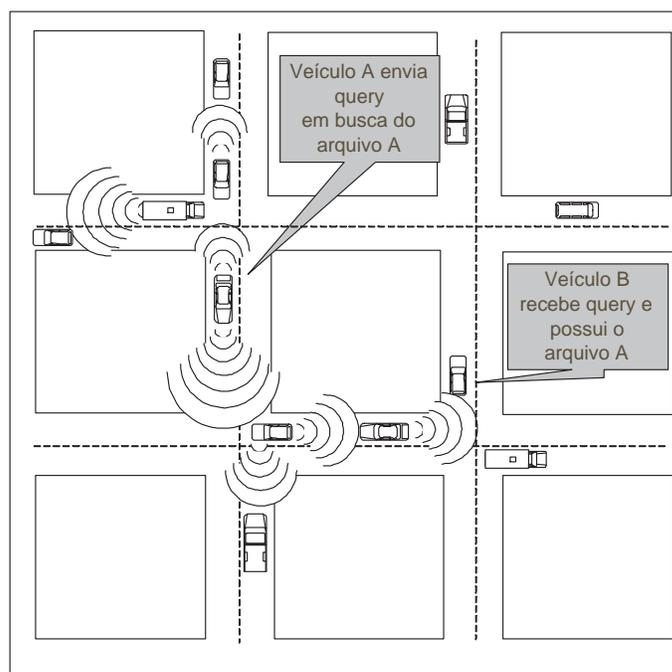


Figura 3.1: Procedimento de busca por difusão da mensagem query.

Neste procedimento é utilizada uma mensagem específica, denominada *query*, que contém os campos de endereço de origem, identificação do arquivo desejado, número sequencial da mensagem definido pela origem e o tempo de vida do pacote na rede (TTL). Cabe ressaltar que uma busca será identificada unicamente pela tupla (endereço de origem, arquivo desejado, número sequencial), logo para cada busca o nó originário da busca definirá um número sequencial. Assim sendo, durante o processo de difusão da busca, os nós que a recebem verificam se disponibilizam o arquivo desejado. Em caso negativo, cooperativamente encaminham esta solicitação a seus vizinhos. Em caso positivo, providenciam o início do procedimento seguinte. O campo TTL inicia com um valor positivo e diferente de zero e será decrementado em uma unidade a cada nó que retransmite a mensagem de busca. Ao atingir o valor 0, esta mensagem é retirada da rede por meio de descarte.

O **procedimento de resposta** ou **transferência do arquivo** inicia no momento em que uma requisição obtém sucesso (*Hit*). Neste momento, o nó que recebeu uma requisição de um arquivo e o disponibiliza pode tomar dois caminhos possíveis: o primeiro, denominado G-AMHop, é iniciar a transferência do arquivo para o nó requisitante (**procedimento de transferência**); o outro, G-FMHop, é indicar ao Nó Requisitante que possui o arquivo, por meio da mensagem específica denominada *queryhit*, se tornando um Nó Respondente (**procedimento de resposta**), conforme pode ser visto na Figura 3.2. Desta forma, para o modelo G-FMHop apenas uma transferência por múltiplos saltos é iniciada. Para a mensagem *queryhit* definida no G-FMHop, tem-se os campos: endereço do remetente, endereço do destinatário (Nó Requisitante), número sequencial do pacote recebido, identificação do arquivo e tempo de vida do pacote na rede. Cabe aqui ressaltar que ao definir os procedimentos do Veer, algoritmo de seleção de pares proposto neste trabalho, alguns campos extras necessários ao seu funcionamento serão inseridos neste tipo de mensagem.

Neste momento o Nó Requisitante tem duas opções: ou iniciar o recebimento do arquivo, no caso do G-AMHop, terminando sua busca, ou receber a mensagem de resposta, G-FMHop, e então iniciar o **procedimento de solicitação de transferência**. Este procedimento solicita por meio de mensagem específica, que o detentor do arquivo desejado, Nó Respondente, inicie sua transferência. A mensagem específica para este procedi-

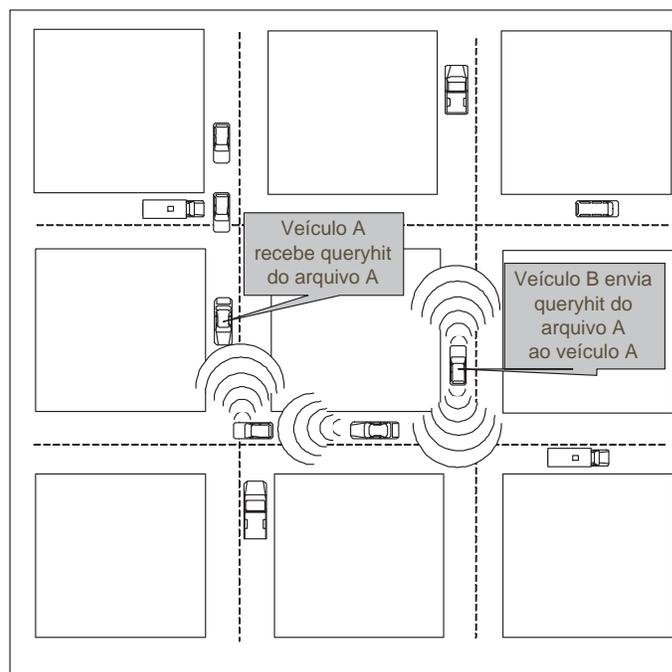


Figura 3.2: Procedimento de resposta por meio da mensagem `queryhit`.

mento, denominada `sendme`, contém o endereço da origem (Nó Requisitante), endereço do destinatário (Nó Respondente), a numeração seqüencial e a identificação do arquivo.

É possível que um nó receba mais de uma mensagem de resposta para uma mesma requisição de arquivo, identificada pela tupla endereço do remetente, número de seqüência e identificação do arquivo. Neste trabalho considerou-se que seja enviada a mensagem de solicitação de transferência do arquivo para o nó respondente de quem o nó requerente recebeu primeiro a mensagem de resposta. No entanto, outras estratégias poderiam ser utilizadas, como critério de seleção. Em sistemas P2P na Internet, pode-se escolher, por exemplo, o par com mais banda disponível ou o mais próximo do nó requisitante.

O **procedimento de transferência** do arquivo pode ser iniciado em dois momentos distintos. O primeiro momento acontece quando um nó respondente identifica que possui o arquivo, procedimento seguinte ao procedimento de busca. O segundo momento é quando o nó respondente recebe a mensagem específica solicitando a referida transferência, seguindo ao procedimento de solicitação de arquivo.

A descrição acima é de um modelo de sistema C2C-CS que será adotado neste trabalho. A implementação do algoritmo Veer proporá alterações tanto de uma parte do seu

funcionamento quanto em premissas específicas para que o processo de seleção de pares possa ser efetuado.

Tanto o funcionamento do protocolo G-AMHop quanto do protocolo G-FMHop estão mostrados na Figura 3.3, na qual é apresentada a seqüência dos procedimentos para cada protocolo, após o arquivo ser encontrado por algum nó da rede. Ressalta-se que para todos os protocolos o procedimento de busca é o mesmo.

3.2 Veer

Nesta seção será descrito o funcionamento do algoritmo de seleção proposto nesta dissertação, chamado Veer, e as alterações necessárias nas mensagens e nos procedimentos definidos para os nós, Figura 3.3, necessários ao seu funcionamento. Para a simulação este algoritmo será implementado em um protocolo específico.

Além da premissa definida para os modelos C2C-CS na Seção 3.1, é fundamental para o funcionamento do Veer que um veículo pertencente a uma rede veicular possua um sistema de posicionamento qualquer, *Global Positioning System* - GPS, por exemplo. É necessário também que esse sistema de posicionamento seja capaz de, dado que o condutor informe seu destino final, calcular a trajetória aproximada do veículo, visando o processo de seleção de pares por meio de comparação de trajetórias.

Para o **procedimento de busca** do arquivo desejado, o funcionamento é idêntico ao do sistema apresentado na seção anterior. No entanto, a partir do momento em que o arquivo é encontrado, o Nó Respondente informa ao Nó Requisitante dados adicionais às informações definidas anteriormente no procedimento de resposta.

Desta forma, o **procedimento de resposta** tem uma mensagem específica, *queryhit*, que inclui alguns novos campos, quando comparada à descrita na Seção 3.1. Além dos campos definidos anteriormente no procedimento de resposta, o Nó Respondente deverá informar também a trajetória aproximada calculada pelo sistema de posicionamento e o tamanho do arquivo a ser transferido. A partir deste momento o Nó Respondente será designado também de Nó Candidato para efetuar o **procedimento de transferência** do

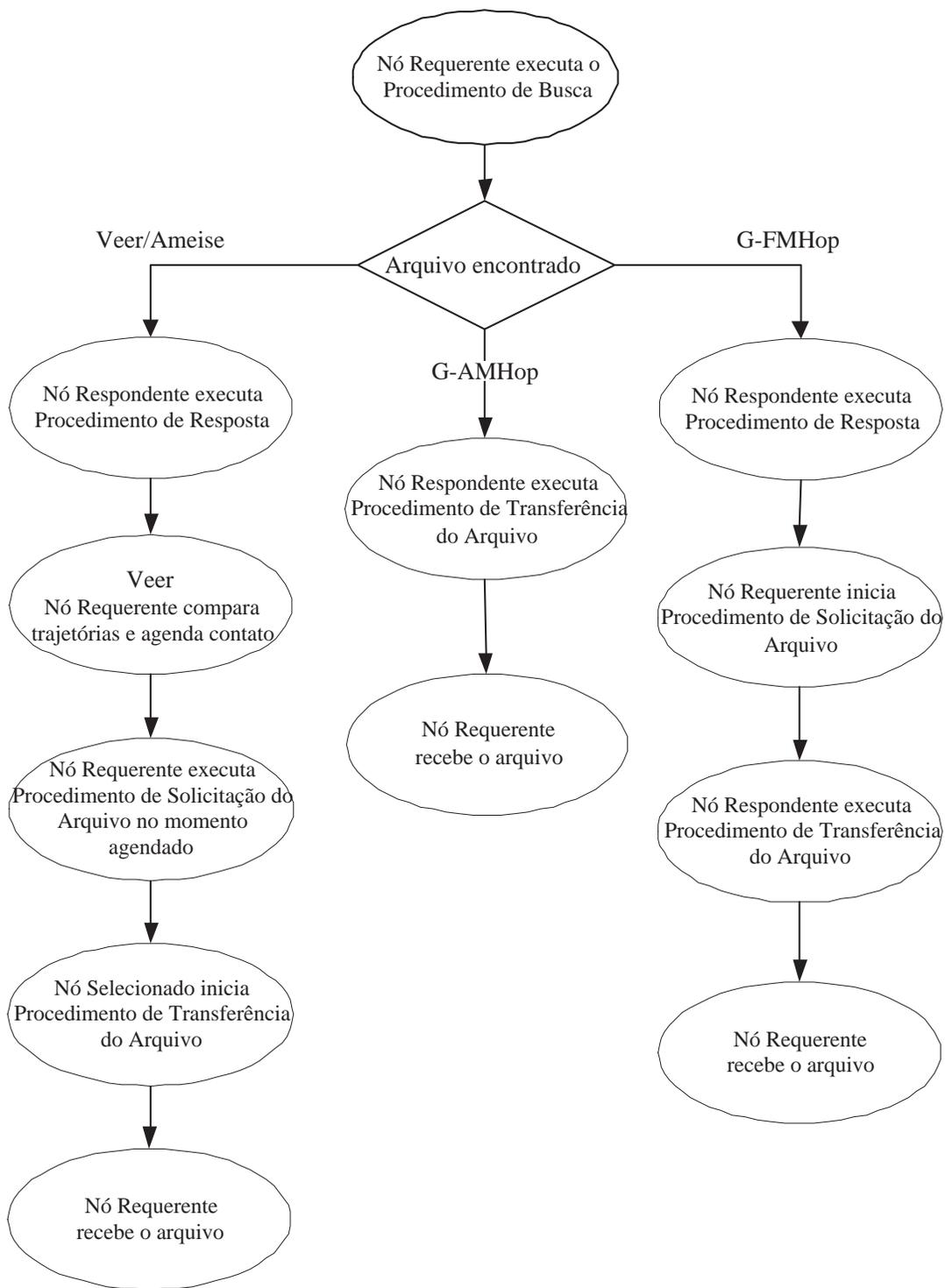


Figura 3.3: Seqüência dos procedimentos para os protocolos definidos.

arquivo desejado.

O Nó Requisitante, ao receber a trajetória do agora Nó Candidato, deverá calcular também sua trajetória e compará-las, em busca de interseções. Caso não encontre in-

terseções na comparação, descarta a mensagem e o Nó deixa de ser Nó Candidato. Caso encontre, deverá verificar se esta interseção encontrada possui tempo de contato suficiente para fazer a transferência do arquivo, de acordo com taxa mínima de transmissão. Caso sejam satisfeitas estas condições, o Nó Candidato passa a ser denominado Nó Selecionado e o agendamento da transferência é efetuado pelo Nó Requisitante para o início do tempo de contato, de acordo com as trajetórias específicas. Neste procedimento, nenhuma mensagem de resposta é descartada até o momento em que um agendamento é efetuado.

O **procedimento de solicitação de transferência** também sofreu uma alteração no momento em que ela é enviada. Ao invés de enviar tão logo receba a mensagem de resposta, agora a mensagem de solicitação de transferência é programada para ser encaminhada apenas no início do tempo de contato agendado.

A Figura 3.3 apresenta a seqüência dos procedimentos para o protocolo Ameise, que implementa o algoritmo Veer para seleção de pares. A seqüência apresentada somente leva em consideração os procedimentos caso o nó candidato seja selecionado. Ressalta-se que o algoritmo Veer é executado entre os procedimentos de resposta e o procedimento de solicitação do arquivo, e que este último somente será iniciado ao alcançar o momento de contato agendado para solicitar a transferência do arquivo desejado.

É possível que de todos os candidatos, nenhum, ou vários sejam selecionados. Dessa forma, pode haver ou não agendamento marcado para um determinado arquivo. Mas deve-se também salientar que de todas as transferências iniciadas em conexões por múltiplos saltos, também é possível que nenhuma termine com o arquivo sendo transferido. Verificar qual modelo melhor se adequa ao cenário de uma VANET é uma das propostas deste trabalho.

O último procedimento a ser descrito é o **procedimento de transferência** do arquivo. Para este procedimento nenhuma mensagem específica foi definida, supondo-se que a transferência confiável do arquivo seja feita por outro protocolo. Nesta dissertação utiliza-se o protocolo de transferência de arquivos (*File Transfer Protocol- FTP*).

É importante ressaltar que o funcionamento do Veer não está atrelado a nenhuma aplicação e também a nenhum protocolo de roteamento. A idéia é que o Veer funcione como

uma camada intermediária, entre a aplicação e a camada de rede. Esta independência pode ser considerada uma vantagem, pois o Veer pode trabalhar com qualquer tipo de aplicação de compartilhamento de conteúdo, com base no Gnutella, e com qualquer protocolo de roteamento.

3.2.1 Seleção de pares no Veer

Para testar o seu desempenho e visando prover uma futura comparação foi implementado um protocolo para busca de arquivo seleção de pares, denominado **Ameise**, que utiliza o algoritmo de seleção de pares Veer. Este protocolo define três mensagens para seu funcionamento, conforme Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Mensagens definidas no modelo Ameise.

Mensagem	Função	Procedimento
query	Requisitar um arquivo	Busca
queryhit	Informar que possui o arquivo requisitado	Resposta
sendme	Solicitar a transferência do arquivo	Solicitação de transferência

Ressalta-se que para o procedimento de transferência do arquivo não existe nenhuma mensagem específica associada, pois a transferência é realizada por algum outro protocolo.

A mensagem `query` serve para requisitar um arquivo, sendo utilizada no procedimento de busca e enviada em inundação na rede. A mensagem `queryhit` destina-se a informar que um arquivo solicitado foi encontrado. Ela é enviada diretamente ao nó requisitante, por meio de conexões de múltiplos saltos, se for o caso, e é utilizada no procedimento de resposta. A mensagem `sendme` é utilizada pelo procedimento de solicitação de arquivo, sendo enviada apenas no momento em que foi programada a transferência

do arquivo. Um nó ao receber esta mensagem, deve iniciar a transferência do arquivo solicitado.

A Figura 3.4 mostra as ações tomadas por um nó respondente, n_{resp} , a partir do recebimento da *query*, na qual o n_{req} é o **nó requisitante** de um arquivo A . Ao receber a solicitação, n_{resp} verifica se possui o arquivo requisitado em sua tabela de arquivos disponíveis. Caso não possua, n_{resp} se torna um **nó intermediário**, n_{int} , e reenvia a mensagem recebida em difusão (*broadcast*). Caso contrário, se torna um **nó candidato**, n_{cnd} , não repassa a mensagem de busca a seus vizinhos e responde ao nó requisitante com uma mensagem *queryhit* com sua trajetória aproximada, obtida por um sistema de posicionamento global (GPS), até seu destino final. A Figura 3.5 mostra as ações tomadas pelo nó requisitante a partir do recebimento da mensagem *queryhit*. Ele compara sua trajetória com a trajetória recebida e agenda uma transferência se houver interseção entre elas. Somente neste caso, o nó candidato se torna um **nó selecionado**, n_{selec} . Ao alcançar o tempo que foi programado no agendamento, o n_{req} envia uma mensagem *sendme* para que o n_{selec} inicie a transferência do arquivo.

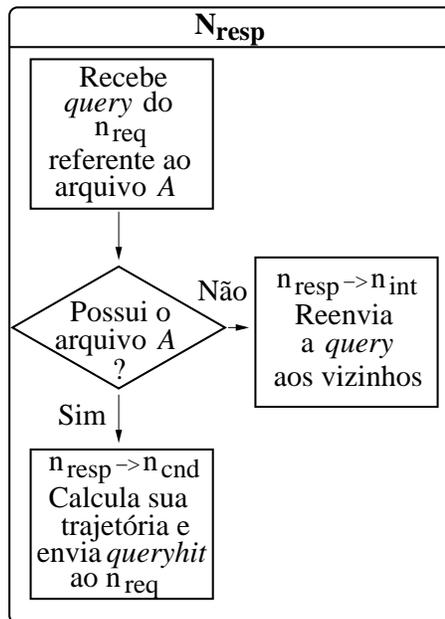


Figura 3.4: Fluxograma do nó ao receber uma *query*.

De acordo com o que foi descrito, cabe ressaltar que no momento da transferência do arquivo não há a necessidade de utilização do protocolo de roteamento, uma vez que a transferência é realizada a partir de um nó vizinho de um salto. No entanto, é possível que

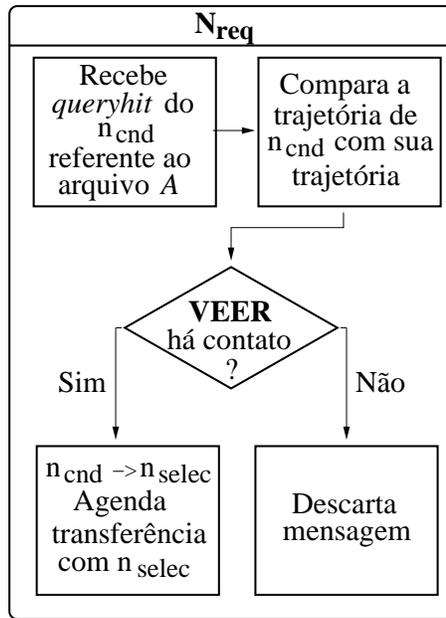


Figura 3.5: Fluxograma do nó ao receber uma *queryhit*.

alterações ou retardos na trajetória do nó candidato ou do requisitante façam com que, no tempo agendado, os nós não sejam vizinhos de um salto. Somente neste caso, o protocolo de roteamento é acionado para prover a transferência do arquivo. Nos demais casos, com a utilização do algoritmo Veer, o protocolo de roteamento pode ser utilizado apenas para as mensagens *queryhit*.

Quanto mais nós candidatos o requisitante tiver, mais chances terá de agendar um contato e de receber o arquivo desejado. É possível também que no envio da *query*, não haja nenhuma resposta em tempo aceitável, sendo possível uma segunda requisição do arquivo, se for o caso. Os tempos máximos de espera e número de tentativas são parâmetros configuráveis de acordo com a aplicação.

Define-se uma trajetória como um vetor de tuplas, denotado por:

$$TJT_{vehicle} = [(t_0, X_0, Y_0, d_0); (t_1, X_1, Y_1, d_1); (t_2, X_2, Y_2, d_2)...] \quad (3.1)$$

Em cada tupla da Definição 3.1, t_i é o tempo em que o nó ingressa em uma rua. Já as coordenadas (X_i, Y_i) representam o ponto inicial do veículo nessa rua. A variável d_i é a direção em que o carro segue por esta rua, podendo assumir os valores norte, sul, leste e

oeste. Desta forma, as coordenadas (X_i, Y_i) representam o ponto inicial de um segmento de rua que o nó percorre até o início da próxima rua (segmento), representada pela tupla $(t_{i+1}, X_{i+1}, Y_{i+1}, d_{i+1})$. Ressalta-se que o conjunto de todos os pontos X_i, Y_i é a relação de todos os cruzamentos por onde o nó passou e alterou sua trajetória retilínea, no caso do cenário utilizado ser uma grade.

Descrição do Algoritmo

O Algoritmo 1 descreve a primeira parte do funcionamento do Ameise, protocolo que implementa o Veer. Suponha que o nó n_{resp} receba uma mensagem `query` do nó n_{req} solicitando o arquivo A . Ressalta-se que a trajetória do nó candidato n_{cnd} denotada por $(TJT(n_{cnd}))$ é levada em consideração apenas a partir do tempo t_0 de recebimento da `query`, uma vez que a trajetória já percorrida é irrelevante para cálculo de possíveis contatos.

A trajetória calculada e enviada na mensagem `queryhit` é o vetor de tuplas $[(t_0, X_0, Y_0, d_0); (t_1, X_1, Y_1, d_1); (t_2, X_2, Y_2, d_2); \dots]$, no qual a tupla (t_0, X_0, Y_0, d_0) representa a posição, tempo e direção iniciais, isto é, no momento do recebimento da `query`. As demais tuplas seguem de acordo com a definição da trajetória.

Algoritmo 1 Ameise: n_{resp} recebeu `query` referente ao arquivo A do n_{req} no tempo t_{query} .

```

if ( $n_{resp}$  possui o arquivo  $A$ ) then
    Se torna  $n_{cnd}$ 
    Calcula sua trajetória  $(TJT(n_{cnd}))$  até seu destino final a partir de  $t_{query}$ 
    Envia queryhit( $TJT(n_{cnd})$ ) ao  $n_{req}$ 
else
    Reenvia query aos seus vizinhos
end if

```

O Algoritmo 2 apresenta a primeira parte do funcionamento do Veer, a partir do recebimento das informações da trajetória e do tamanho do arquivo do nó candidato.

Este algoritmo descreve como o nó requerente, n_{req} , verifica se os nós candidatos serão ou não selecionados. O n_{req} calcula sua trajetória $(TJT(n_{req}))$ a partir do momento

Algoritmo 2 Ameise/Veer: n_{req} recebeu $queryhit$ de n_{cnd} no instante $t_{queryhit}$.

n_{req} calcula sua trajetória ($TJT(n_{req})$) até seu destino final a partir de $t_{queryhit}$

if ($TJT(n_{req}) \cap TJT(n_{cnd}) \neq 0$) **then**

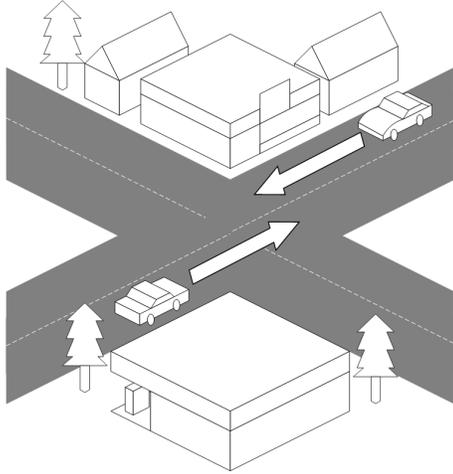
n_{cnd} se torna um n_{selec}

if (\nexists agendamento entre n_{req} e n_{selec} para arquivo A) **then**

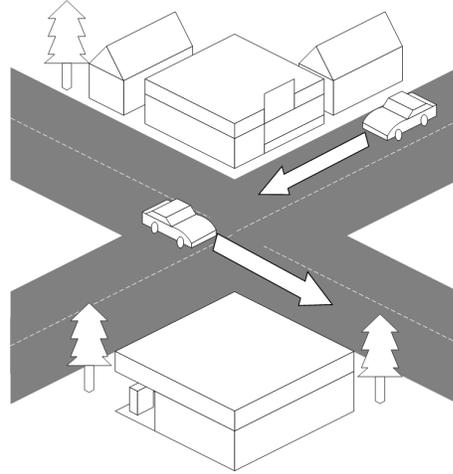
Agenda Transferência entre n_{req} e n_{selec} para arquivo A no tempo $t_{iniccontato}$

end if

end if



(a) Carros na mesma rua.



(b) Carros em ruas perpendiculares.

Figura 3.6: Veer: seleção de pares.

em que recebeu a mensagem $queryhit$, e a compara com a trajetória recebida. Caso encontre alguma interseção que viabilize a transferência do arquivo, ou seja, se o Veer apresentar um resultado favorável à transferência do arquivo, n_{req} verifica se já não existe agendamento com o agora nó selecionado, n_{sel} para o arquivo solicitado. Se não existe efetua o agendamento.

A análise efetuada pelo Veer é descrita a seguir, conforme Algoritmo 3. Primeiramente, é verificado se ambos os nós, requisitante e candidato, possuem coordenadas X ou coordenadas Y iguais em algum tempo, estando possivelmente na mesma rua. Neste ponto ainda não se pode garantir que ambos estão na mesma rua. Caso positivo, avalia-se se os dois nós estão dentro do raio de cobertura um do outro (\mathbf{R}). Para este cálculo, é verificado se a diferença entre a distância das coordenadas diferentes é menor que o raio de cobertura de ambos os nós. Se for verdade, é identificado se a direção de ambos é

a mesma ou é contrária, pois somente nestes casos pode-se garantir que ambos estão na mesma rua, conforme mostrado na Figura 3.6(a), e não em ruas perpendiculares, apesar de mesmas coordenadas X ou coordenadas Y, de acordo com a Figura 3.6(b). Ao final é verificado se a diferença entre o tempo em que ambos entraram na rua até o seu tempo de saída é menor que o tempo necessário para transferência de um arquivo, de acordo com a taxa básica de transmissão e do tamanho do arquivo (**T**).

Se todas as condições forem satisfeitas e não existe agendamento para o arquivo requisitado com o nó candidato, então a transferência é agendada. É possível ocorrer um cenário no qual um contato não seja identificado e, neste caso, pode se optar por fazer a comunicação por múltiplos saltos. Este fato reduz o desempenho do Ameise, mas não afeta seu funcionamento.

Algoritmo 3 Veer: $TJT(n_{req}) \cap TJT(n_{cnd})$.

```

if ( $X_{req} = X_{cnd}$ ) then
  if distância [ $Y_{req}, Y_{cnd}$ ]  $\leq \mathbf{R}$  then
    if mesma direção or direção oposta then
      if diferença [ $t_{req}, t_{cnd}$ ]  $\leq \mathbf{T}$  then
        Agenda Transferência entre  $n_{req}$  e  $n_{cnd}$  para arquivo  $A$  no tempo  $t$ 
      end if
    end if
  end if
end if

```

No próximo capítulo, o protocolo Ameise foi implementado dentro de um simulador de redes, com o intuito de avaliar o desempenho da estratégia de seleção de pares proposta em comparação com uma estratégia normal de transferência por múltiplos saltos.

Capítulo 4

Simulações

Neste capítulo é apresentado o ambiente de simulação, onde são descritos os protocolos implementados e as configurações específicas da simulação. Em seguida são apresentadas análises dos resultados comparativos e experimentais.

Com o objetivo de analisar a eficiência do Veer em relação a outros protocolos, foram realizadas simulações. São aqui apresentadas aquelas ligadas à capacidade de transferência de dados.

Para efeitos de comparação foram implementados três protocolos em um simulador de redes. O primeiro protocolo é o Ameise, que implementa o algoritmo Veer. Este é comparado com outros dois, denominados ALL-MHop e FIRST-MHop. As características específicas de implementação e funcionamento de cada protocolo são descritas adiante.

4.1 Ambiente de simulação

Nesta seção são apresentadas as implementações dos protocolos realizadas no simulador de redes NS [42], os cenários utilizados e a configuração da mobilidade dos nós.

4.1.1 Implementações realizadas no NS-2

Todos os 3 protocolos foram implementados como agentes no NS-2.31 [42]. O *Network Simulator* é um simulador de redes orientado a eventos, desenvolvido pelo Projeto VINT (*Virtual InterNetWork Testbed*) com suporte da DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*) e com colaboração de pesquisadores de centros de pesquisas e universidades. O núcleo do simulador é escrito na linguagem C++. A linguagem de programação utilizada para estabelecer uma interface de configuração e comandos é a OTCL (*Object Tool Command Language*). Essa linguagem auxiliar é interpretada, permitindo que os *scripts* de simulação sejam escritos e modificados sem a necessidade de recompilar o código do simulador.

Para os protocolos Ameise e FIRST-MHop desenvolveram protocolos com 3 mensagens e 4 procedimentos. Já para o protocolo ALL-MHop, foram projetados 1 mensagem e 2 procedimentos. A transferência do arquivo entre os nós da rede, para todos os protocolos, é feita por meio do agente FTP (*File Transfer Protocol*) já implementado no NS-2.31.

A primeira mensagem implementada para todos os protocolos foi a mensagem de busca de arquivos no sistema C2C-CS, denominada *query*. Esta mensagem é disseminada por difusão e seu funcionamento é descrito conforme Capítulo 3.

A mensagem de resposta à *query*, apenas implementada para os protocolos Ameise e FIRST-MHop, é denominada *queryhit*. Esta mensagem possui a finalidade de informar ao nó requerente que o arquivo solicitado está disponibilizado pelo nó respondente. No caso da implementação do Ameise, esta mensagem contém o número de seqüência, o nome do arquivo encontrado, o endereço do destinatário (nó requerente), o endereço da origem (nó respondente), o tamanho do arquivo e a trajetória da origem (nó respondente), sendo os dois últimos campos necessários apenas ao processo de seleção do Veer. Caso o protocolo seja o FIRST-MHop a mensagem contém o número de seqüência, o nome do arquivo encontrado, o endereço do destinatário (nó requerente) e o endereço da origem (nó respondente).

A terceira mensagem, também implementada somente nos protocolos Ameise e FIRST-MHop, é a *sendme*. Esta mensagem possui a finalidade do nó requerente disparar o

procedimento de solicitação do arquivo, ao solicitar o início da transferência do arquivo desejado ao nó detentor do arquivo. Ressalta-se que no caso do Ameise o nó detentor é o nó selecionado, enquanto no FIRST-MHop este nó é denominado nó respondente.

O protocolo de roteamento utilizado foi o AODV (*Ad Hoc On-Demand Distance Vector*). Verificou-se que dos protocolos legados das redes MANETs e implementados em redes veiculares, os reativos são os que melhor se adequam [5]. Dentre os reativos o AODV é o que melhor se adapta às rápidas e constantes alterações de cenários. Por ser um protocolo de descoberta de rotas sob demanda e baseado em tabelas de roteamento, os nós descobrem rotas para algum outro nó no momento em que a comunicação se faz necessária. Dada esta característica, é possível que a movimentação de um nó vizinho, que antes fazia parte de uma rota para um destino, não mais seja problema, pois é possível uma nova descoberta de rota sob demanda. Esta nova descoberta de rota é feita pelo envio de uma mensagem em difusão *RREQ - Route Request*, que contém, entre outros campos, o endereço do nó fonte e um identificador que auxiliam no procedimento de descoberta de rotas.

Na camada MAC foi utilizado o padrão IEEE 802.11b, implementado nativamente no NS - 2.31.

Ameise

Nesta subseção é descrito o funcionamento do Ameise, protocolo que implementa o algoritmo Veer de seleção de pares para transferência dos arquivos, ou seja, possui a idéia básica de transferência do arquivo por conexões em apenas um salto.

O procedimento é descrito a partir do ponto no qual o nó requerente recebe a mensagem indicando que o arquivo desejado foi encontrado, `queryhit`, uma vez que o processo de busca já foi detalhado em outras oportunidades neste trabalho e não sofreu alterações. Conforme subseção anterior, o arquivo desejado foi encontrado por um nó respondente. Ressalta-se que de acordo com a Figura 3.4 do Capítulo 3, o nó respondente passa a ser um nó candidato, por ter uma possibilidade de ser selecionado para efetuar a transferência do arquivo. De posse da trajetória do nó candidato e do tamanho do arquivo,

o nó requerente efetua, primeiramente, a comparação de trajetórias, conforme descrito no capítulo anterior. Caso encontre uma interseção com tempo suficiente para a transferência do arquivo, é agendada a transferência para o tempo de contato inicial.

A transferência é iniciada pelo envio da mensagem `sendme` do nó requerente ao nó candidato, agora denominado nó selecionado. Somente após receber a mensagem, o nó selecionado inicia o procedimento de transferência do arquivo por meio de uma conexão FTP.

ALL-MHop

Primeiramente, são descritos os procedimentos do ALL-MHop, que é o primeiro protocolo a ser comparado com o Ameise. Este protocolo possui como idéia básica que a transferência do arquivo possa ser efetuada por múltiplos saltos. Dado que são possíveis várias transferências simultâneas para o mesmo nó requerente, aumenta-se a taxa de vazão agregada. Em contrapartida observa-se uma redução da vazão útil, determinada pela transferência completa do arquivo.

O protocolo ALL-MHop utiliza apenas a mensagem de busca de arquivo, `query`. O procedimento de busca é mantido sem alterações. Este protocolo difere dos demais no que se refere aos procedimentos necessários para seu funcionamento. Por ter sua implementação e funcionamento mais simples, são necessários apenas os procedimentos de busca e de transferência do arquivo.

Um nó ao receber uma `query` e possuir o arquivo desejado, inicia o procedimento de transferência do arquivo por meio de uma conexão FTP, mesmo que esta conexão seja por múltiplos saltos.

Ressalta-se que neste protocolo, várias conexões FTP podem ser iniciadas simultaneamente com o nó requisitante. O total destas conexões é igual à quantidade de nós respondentes, ou seja, nós que possuem o arquivo desejado. Esta possibilidade de várias conexões simultâneas de transferência do arquivo pode gerar sobrecarga acarretando interferências, degradando o desempenho deste protocolo. Em contrapartida, as várias tentativas de transferências do mesmo arquivo aumentam as chances de recebê-lo de pelo

menos um nó respondente, fato que pode o tornar uma solução mais atraente. Este é um dos aspectos de desempenho investigados nas simulações descritas a seguir.

FIRST-MHop

O terceiro e último protocolo implementado, denominado FIRST-MHop, é uma variação do ALL-MHop no que se refere à quantidade de mensagens e no procedimento de transferência do arquivo. Este novo protocolo implementa as mesmas três mensagens do protocolo Ameise, mas com diferentes campos na mensagem de resposta à busca (`queryhit`). Neste protocolo, tem-se como idéia básica também a possível transferência por conexões em múltiplos saltos, mas não mais em várias conexões simultâneas. É esperado que este novo protocolo apresente uma vazão agregada menor que o protocolo anterior, mas com uma maior eficiência o que se refere à transferência de arquivos completos. Ressalta-se que o procedimento de busca permanece inalterado.

Esse protocolo, ao invés dos nós respondentes iniciarem o procedimento de transferência do arquivo, estes iniciam um procedimento de resposta, por meio da mensagem `queryhit`. A diferença do procedimento de resposta deste protocolo para o Ameise está apenas nos campos da mensagem. Neste caso, a `queryhit` contém o endereço de origem (nó respondente), o endereço do destino (nó requerente), o número de seqüência e o nome do arquivo desejado. Os campos contendo a trajetória e o tamanho do arquivo não são informados, uma vez que são necessários apenas para o processo de seleção de pares do Veer, implementado no Ameise.

O procedimento de solicitação de transferência também sofreu alterações. Esta alteração não foi no conteúdo da mensagem `sendme`, mas sim no momento em que ela é enviada. Ao receber a primeira mensagem `queryhit`, o nó requerente envia a mensagem `sendme` ao nó respondente associado. O nó requerente descarta todas as outras mensagens `queryhit` recebidas a partir do momento em que enviou a mensagem `sendme`.

O procedimento de transferência do arquivo não sofreu alteração, e inicia quando o nó respondente receber a mensagem `sendme`, por meio de uma conexão FTP. Aqui também, possivelmente, em conexões por múltiplos saltos.

4.1.2 Cenário e mobilidade dos nós

O cenário da simulação é uma grade de 620 m x 620 m, com 25 quarteirões ao todo, conforme Figura 4.1. A quantidade de nós varia de 30 (cenário mais esparsos) até 150 (cenário mais denso). O tamanho do cenário foi selecionado visando manter a rede conectada a maior parte do tempo, inclusive em condições mais esparsas. Vislumbrou-se que em ambos os casos de comparação o problema de desconexão de rede poderia impactar diretamente nos resultados.

As configurações iniciais para o cenário referente à quantidade de veículos são mantidas até o término da simulação. Em nenhum momento a quantidade de nós é menor ou maior que a quantidade de nós inicial.

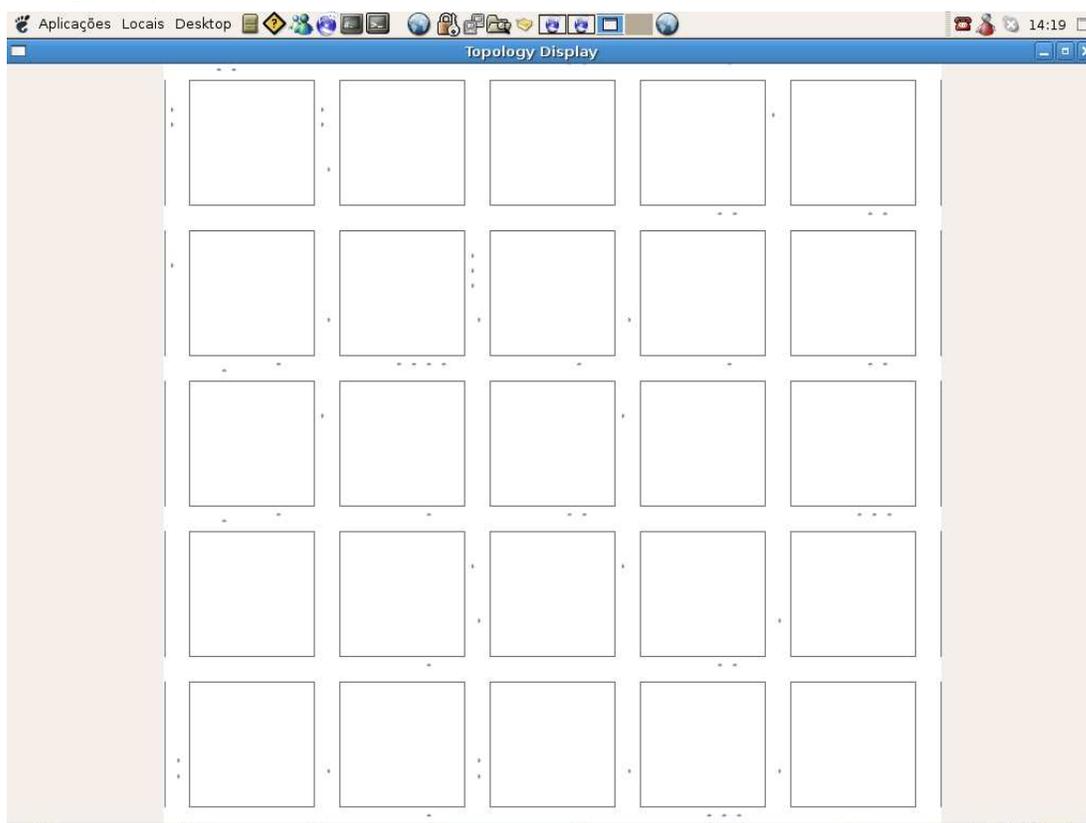


Figura 4.1: Cenário do Ghost.

De acordo com a arquitetura selecionada para a rede C2C-CS, nenhuma infra-estrutura fixa de comunicação é utilizada. Toda a comunicação é feita diretamente entre os nós, pressupondo a disponibilidade deles atuarem cooperativamente. As ruas são todas em mão-dupla e com sinais de trânsito luminosos nos cruzamentos. A velocidade dos nós é

variável, porém, limitada a 40 km/h, valor razoável em um ambiente urbano.

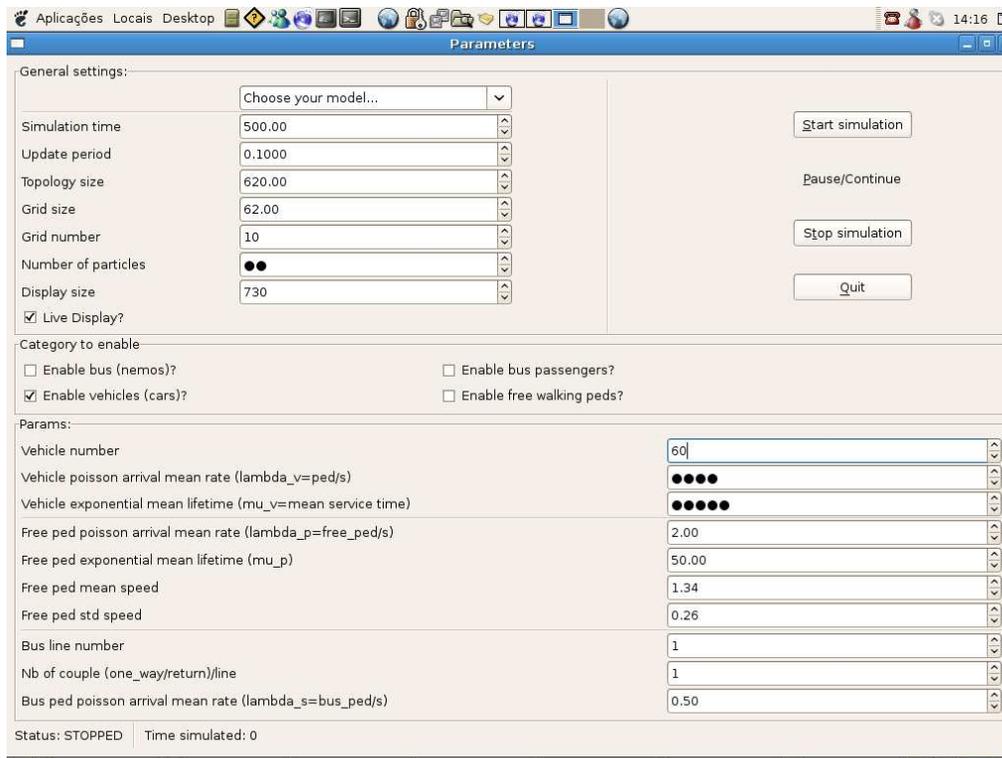


Figura 4.2: Tela de configuração do Ghost.

Os cenários de mobilidade dos nós para esta simulação foram elaborados utilizando a ferramenta Ghost [43], na qual os autores propuseram e implementaram um protocolo de mobilidade denominado mobilidade comportamental. Este protocolo visa representar padrões de mobilidade realistas baseados no paradigma de regras de comportamento. A ferramenta Ghost gera os arquivos de mobilidade dos nós em *traces* compatíveis com vários simuladores de rede, inclusive o NS-2. A Figura 4.2 apresenta a tela de configuração do Ghost. Uma descrição desta figura é feita enfatizando os campos que são utilizados na configuração dos modelos da simulação deste trabalho. Primeiramente o tempo de simulação é definido em 500 segundos de duração e o intervalo de atualização do tempo é de 0,1 segundos. Em seguida define-se o tamanho da topologia e a quantidade de grades. A opção *Live Display?* se marcada, apresenta a movimentação dos nós em uma tela conforme as configurações da topologia e da quantidade de veículos. No campo *Category to enable* é possível adicionar à simulação, além de veículos (carros), ônibus, passageiros de ônibus e pedestres. Para este trabalho apenas carros são usados no modelo de simulação. Dos campos definidos em *Params:* apenas a quantidade de veículos foi utilizada. Para

os demais campos ou não havia opção de alteração ou são campos referentes a categorias que não foram utilizadas na simulação, ônibus, passageiros e pedestres.

Após obter o arquivo com a mobilidade todos os nós, em formato compatível com a ferramenta *Setdest* implementada no NS 2.31, gerou-se um *script* de forma a obter mobilidades específicas de cada nó. Durante a simulação, as trajetórias dos veículos necessárias ao funcionamento do algoritmo Veer de seleção de pares, são retiradas destes arquivos de mobilidades específicas, e calculadas de acordo com a definição de trajetória da Equação 3.1.

4.1.3 Configuração dos nós no sistema C2C-CS

Conforme a premissa adotada para o funcionamento do sistema, os nós ao participarem do sistema de troca de arquivos disponibilizam uma quantidade fixa de arquivos aos demais nós da rede. Estes arquivos são identificados por caracteres de “a” a “z” e foram distribuídos uniformemente entre os nós da rede. Os tamanhos destes arquivos variam de 500 kbytes a 3 Mbytes. Estes tamanhos foram definidos visando avaliar o Veer em diferentes tipos de aplicação de troca de arquivos e verificar com qual tamanho de arquivo ele é mais eficiente para transferência.

Cada nó possui uma lista com arquivos a solicitar, também selecionados uniformemente. É possível que um arquivo solicitado não exista no sistema, pois ambos os arquivos, disponibilizados e a solicitar, são sorteados. O instante em que cada nó efetua as solicitações dos arquivos também é aleatório, distribuído uniformemente entre 0 e 290 segundos.

Primeiramente, três arquivos foram disponibilizados por cada nó. Em seguida, verificando que a carga ainda oferecida pela rede era maior que a carga consumida, aumentou-se a quantidade de arquivos disponibilizados para 6 e foi implementado o protocolo FIRST-MHop. Com o aumento de oferta de arquivo nos nós, a chance de uma solicitação de um arquivo obter sucesso, isto é, ser encontrado, aumenta elevando a utilização da rede.

4.1.4 Rodadas

Para cada protocolo, Ameise, ALL-MHop e FIRST-MHop, e para cada quantidade de nós no cenário, foram efetuadas 30 rodadas de 300 segundos. As variações entre as rodadas de simulação estão na aleatoriedade de seleção dos arquivos e do tempo para sua requisição.

Para a mobilidade dos nós utilizou-se a ferramenta *Setdest* implementada no NS -2.31. Esta ferramenta utiliza o arquivo de mobilidade gerado pelo Ghost e efetua a mobilidade dos nós.

Quanto à mobilidade dos nós, o mesmo cenário que foi utilizado para o protocolo Veer em uma rodada também foi usado para os protocolos de múltiplos saltos (FIRST-MHop e ALL-MHop). Ressalta-se que para cada rodada de um protocolo um cenário de mobilidade diferente foi utilizado.

4.2 Resultados

Nesta seção são apresentadas as métricas utilizadas e as análises dos resultados comparativos e experimentais.

4.2.1 Métricas utilizadas

O Algoritmo Veer foi implementado no protocolo Ameise e foi avaliado em comparação com os dois protocolos de transferência que utilizam comunicações por múltiplos saltos, ALL-MHop e FIRST-MHop. O desempenho dos protocolos foi medido sob quatro métricas: taxa de entrega de pacotes, vazão agregada da rede, vazão útil agregada da rede e entrega de arquivos.

A métrica **taxa de entrega** de pacotes é medida pela razão entre o total de pacotes enviados e o total de pacotes recebidos. Pode assumir os valores entre 0, indicando que nenhum pacote foi entregue, e 1, onde todos os pacotes foram entregues. Quanto maior o valor obtido melhor o desempenho do protocolo.

A **vazão agregada** mede a quantidade de dados entregues, quantificada em Mbits por segundo (Mbps). É possível que em uma conexão efetuada para transferência de um arquivo, apenas uma parte dos bytes do arquivo sejam entregues, dado que a quebra da conexão e sua não reconstrução podem impedir que o arquivo seja entregue por completo. Esta métrica independe da efetiva entrega do arquivo, que é a atividade fim de um sistema C2C-CS. Desta forma, além desta métrica comumente utilizada na literatura, define-se também a métrica de vazão útil agregada.

A **vazão útil agregada** também mede a quantidade de dados entregues e também é quantificada em Mbits por segundo. A diferença é que, neste caso, somente são consideradas as conexões em que efetivamente o arquivo foi entregue. De posse do tamanho do arquivo e do tamanho do pacote, sabe-se exatamente quantos pacotes devem ser entregues para finalizar o arquivo. Somente são contabilizados os bytes entregues se a quantidade transferida estiver de acordo com o tamanho do arquivo.

Em seguida é analisado o desempenho dos protocolos de acordo com o **tamanho dos arquivos entregues**. Foram selecionados três grupos de tamanhos de arquivos e analisados, visando verificar qual o tamanho de arquivo os protocolos têm melhor desempenho.

Em toda a análise efetuada não é considerado o fato de uma mensagem `query` não ter obrigatoriamente uma resposta `queryhit` associada ao protocolo Ameise ou FIRST-MHop ou não ter iniciado nenhuma conexão FTP para o protocolo ALL-MHop.

4.2.2 Ameise X ALL-MHop

Foram analisados os comportamentos dos protocolos Ameise e ALL-MHop, para 3 e 6 arquivos disponibilizados. Esta análise inicial mostrou que ao aumentar a demanda pela carga oferecida da rede, o ALL-MHop apresentou uma degradação no seu desempenho, por motivo de interferências nas comunicações por múltiplos saltos.

Cenário com 3 arquivos

A análise inicial do protocolo Ameise com o ALL-MHop utilizou, para cada nó participante, 3 arquivos disponibilizados e 3 arquivos a solicitar.

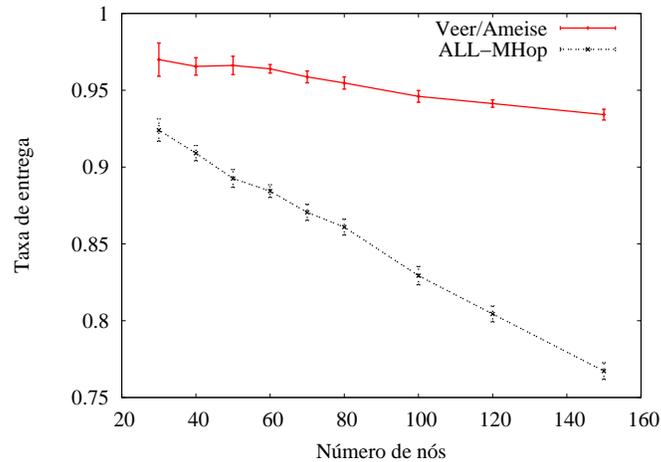
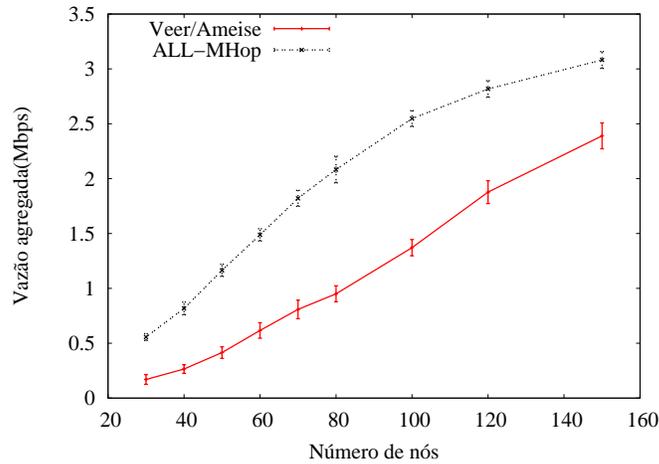


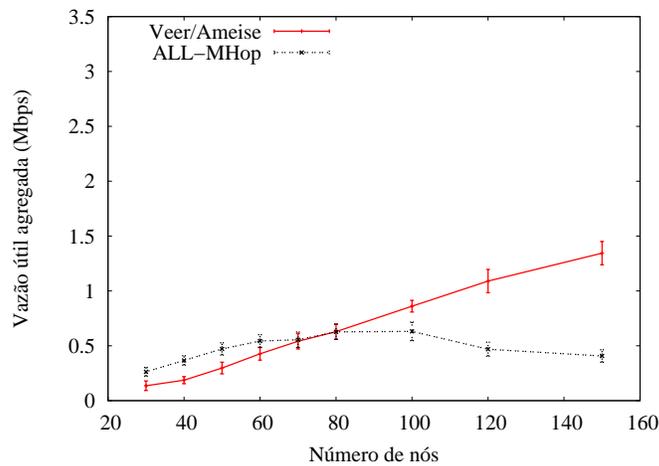
Figura 4.3: Taxa de entrega no cenário com 3 arquivos disponibilizados por nó.

A Figura 4.3 mostra a taxa de entrega de pacotes de dados do Ameise em comparação com o protocolo de múltiplos saltos ALL-MHop. Verifica-se que à medida que os cenários se tornam mais densos (a partir de 40 nós), o Veer/Ameise apresenta uma ligeira queda na taxa de entrega, mas permanecendo sempre acima de 93% de pacotes entregues nos cenários até 120 nós. O ALL-MHop para cenários mais esparsos, 30 e 40 nós, está acima de 90% dos pacotes entregues, com uma queda quase linear e mais acentuada do que a curva do Veer/Ameise, à medida que os cenários vão se tornando mais densos. Quando a densidade da rede aumenta, a interferência entre os nós e a disputa pelo meio também aumentam. Para cenários em que a transferência do arquivo é efetuada sobre uma conexão de múltiplos saltos estes fatores se agravam e a degradação da taxa de entrega é mais acentuada. Em um cômputo geral percebe-se que por esta métrica e para esta configuração, o Veer/Ameise mostrou melhor desempenho. Ressalta-se que os valores obtidos para esta métrica não devem refletir a eficiência dos protocolos.

Analisando a vazão agregada dos dois protocolos implementados, conforme pode ser visto na Figura 4.4(a), percebe-se que o fato de que para cada arquivo encontrado iniciar uma transferência de dados, proporciona ao protocolo ALL-MHop melhor desempenho



(a) Vazão agregada.



(b) Vazão útil agregada.

Figura 4.4: Cenários com 3 arquivos disponibilizados por nó.

que o protocolo Veer/Ameise. A implementação do Veer faz com que cada arquivo encontrado no sistema possa iniciar uma transferência de dados, o que gera uma vazão agregada mais baixa. Nesta métrica demonstra-se, na verdade, que o ALL-MHop gerou mais dados transmitidos na rede.

Já no gráfico que apresenta a métrica vazão útil agregada, Figura 4.4(b), esperava-se que o Ameise fosse mais eficiente, fato que ocorre em alguns cenários. Percebe-se que o Veer/Ameise apresenta um melhor desempenho à medida que os cenários vão ficando mais densos, especificamente maiores que 80 nós. Aumentando a quantidade de nós torna-se maior a possibilidade de contatos por interseção de trajetórias. A curva apresentada para o protocolo ALL-MHop apresenta um crescimento até o cenário com 60 nós,

mantendo-se estável até 80 nós e decaindo à medida que a rede fica mais densa. O motivo desta queda de desempenho é, além da movimentação de nós intermediários ocasionando quebras de conexões, a interferência gerada pela transferência simultânea de vários nós para um mesmo destino, no caso o nó requerente. Ressalta-se que a quebra de conexões e sua posterior tentativa de reconstrução faz com que as mensagens referentes à nova descoberta de rota pelo protocolo de roteamento agravem a situação da interferência nos nós intermediários.

Tabela 4.1: Eficiência - Vazão X Vazão útil.

Número de nós	Veer	ALL-MHop
30	80,09%	47,25%
40	70,58%	44,87%
50	71,96%	40,48%
60	69,23%	36,51%
70	66,95%	30,47%
80	66,16%	30,08%
100	62,79%	24,78%
120	58,06%	16,64%
150	56,25%	13,21%

A diferença entre a curva da vazão e vazão útil do Veer/Ameise e ALL-MHop é apresentada na Tabela 4.1. O valor apresentado, e aqui denominado de eficiência quanto a utilização de banda, mostra o percentual da vazão agregada representada pela vazão útil agregada. Quanto maior o percentual apresentado, menor o desperdício da rede. Percebe-se que em todas as configurações o Veer apresenta um percentual acima de 50%. Já o ALL-MHop apresenta percentuais abaixo de 50% para todas as configurações.

Cenário com 6 arquivos

Após a análise dos cenários com 3 arquivos disponibilizados, verificou-se que a carga máxima que pode ser oferecida pela rede ainda não tinha sido alcançada. Desta forma, visando avaliar os protocolos em situação mais próxima da saturação, aumentou-se para 6 a quantidade de arquivos disponibilizados por cada nó na ocasião do seu ingresso ao sistema. Este novo valor ocasionará maior demanda da carga oferecida pela rede, uma vez que aumenta a possibilidade de uma mensagem de busca encontrar o arquivo, gerando maior carga de pacotes tramitando pela rede.

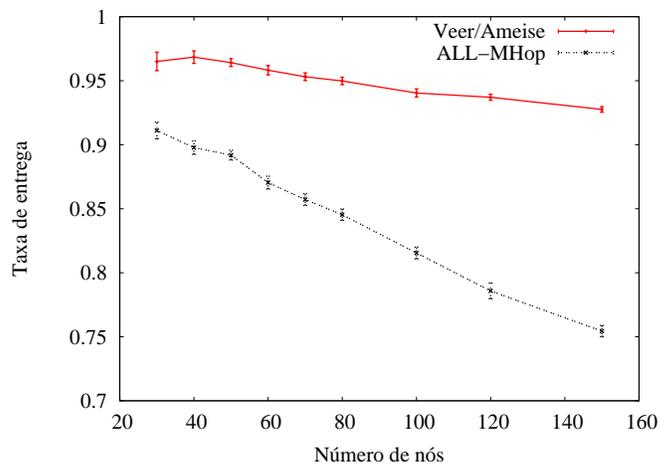


Figura 4.5: Taxa de entrega no cenário com 6 arquivos disponibilizados por nó.

Ao analisar os novos resultados obtidos, verificou-se que o protocolo ALL-MHop apresentou uma queda no seu desempenho, principalmente no que se refere à métrica de vazão útil agregada.

Percebe-se na Figura 4.5 que o ALL-MHop apresentou uma leve piora na métrica de taxa de entrega, terminando no cenário de 150 nós com um valor próximo a 0,75, ou seja uma perda de quase 25% dos pacotes. Por outro lado o Veer/Ameise apresentou um desempenho muito semelhante ao apresentado no cenário de 3 arquivos, permanecendo acima dos 93% de entrega para todos os cenários, exceto o cenário com 150 nós, no qual ficou um pouco abaixo. A análise desta métrica mostrou que a implementação do Veer não é afetada por pequenas variações da carga oferecida pela rede.

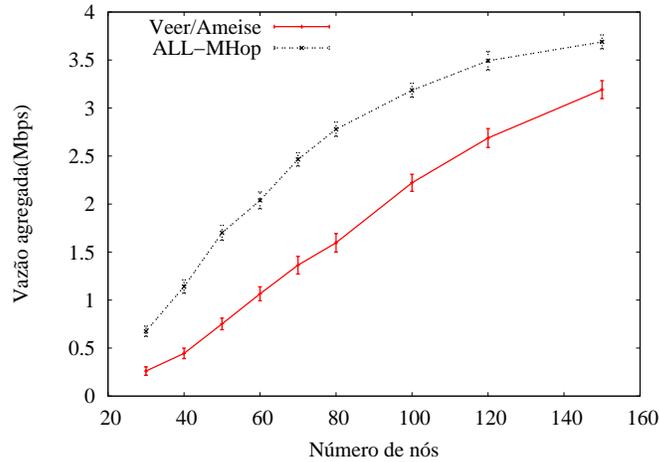
Como era esperado, as curvas de vazão agregada de ambos os protocolos para esta

configuração com 6 arquivos apresentaram um leve aumento relação à configuração com 3 arquivos, conforme pode ser visto na Figura 4.6(a). Este aumento era esperado uma vez que na nova configuração a chance de uma busca encontrar um arquivo também é mais alta. Percebe-se também que a diferença entre as curvas dos dois protocolos, Veer/Ameise e ALL-MHop, ficou um pouco menor, ainda em relação ao cenário configurado com 3 arquivos. Isto se explica pelo fato de que com maior quantidade de nós que possuem o arquivo desejado, maior é a chance de efetuar a transferência. Este fato para o Veer/Ameise é bem favorável, pois aumentam as chances de um agendamento. Por outro lado, para o protocolo ALL-MHop este fato é desfavorável, pois mais nós transmitindo o arquivo ao mesmo tempo geram maior interferência nos nós intermediários, ocasionando uma queda de desempenho.

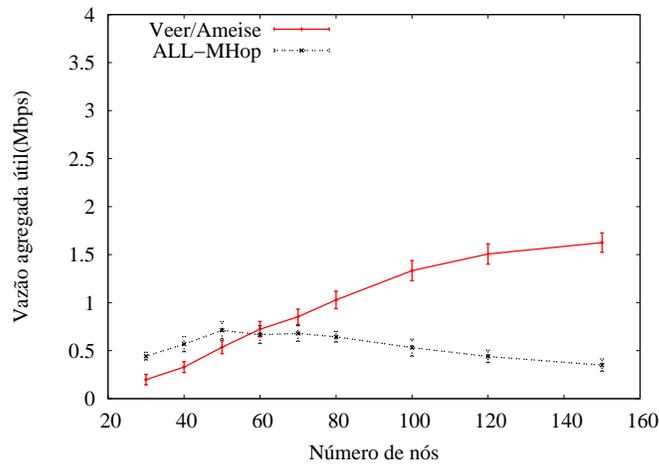
Já a métrica de vazão útil, Figura 4.6(b), demonstrou que o protocolo ALL-MHop não é escalável quando a quantidade de arquivos disponíveis aumenta. Percebe-se que a curva tem uma ligeira ascensão até o cenário com 50 nós e em seguida apresenta uma queda mais acentuada que o cenário anterior, apresentando desempenho semelhante ao Veer/Ameise para o cenário com 60 nós e pior desempenho a partir do cenário com 70 nós. Já o protocolo Veer/Ameise, mesmo com o dobro de arquivos disponibilizados, apresenta um melhor desempenho para esta métrica, chegando a ter uma melhora em torno de 50% para o cenário de 100 nós. Percebe-se também que a curva do Veer/Ameise apresenta um crescimento, caracterizando que para esta métrica, a implementação do Veer torna o protocolo mais escalável que o protocolo ALL-MHop.

Percebe-se pela Tabela 4.2, que mostra a eficiência quanto a utilização da banda, que o Veer/Ameise apresenta uma eficiência superior ao ALL-MHop para todas as quantidades de nós, chegando a ser superior em mais de 40 pontos percentuais para esta métrica no cenário de 150 nós. Percebe-se também que o Veer apresentou eficiência para todas as quantidades de nós acima de 50% enquanto o ALL-MHop apenas no cenário mais esparsos, 30 nós.

Realizou-se uma comparação entre os protocolos por meio da métrica de número médio de arquivos entregues por grupos de tamanhos. A subdivisão adotada foi para arquivos menores que 1Mbyte, arquivos maiores que 1Mbyte e menores que dois Mbytes e arqui-



(a) Vazão agregada.



(b) Vazão útil agregada.

Figura 4.6: Cenário com 6 arquivos disponibilizados por nó.

vos maiores que 2Mbytes. Deve-se salientar que a seleção dos tamanhos dos arquivos disponibilizados pelos nós foi aleatoriamente distribuída entre 500Kbytes e 3Mbytes.

Percebe-se, analisando a Figura 4.7, que Veer/Ameise teve, para esta métrica, um desempenho superior ao ALL-MHop para todos os cenários iguais e maiores que 70 nós. Percebe-se também que para todos os tamanhos de arquivos, o Veer/Ameise apresenta um aumento na quantidade de arquivos entregues à medida que os cenários vão se tornando mais densos, excetuando-se o cenário com 150 nós para arquivos maiores. Este mesmo fato não é observado para o protocolo ALL-MHop que, apesar de em alguns cenários apresentar um aumento de arquivos entregues, à medida que as redes se tornam mais densas o desempenho para esta métrica diminui. É possível perceber também que à

Tabela 4.2: Eficiência - Vazão X Vazão útil no cenário com 6 arquivos disponibilizados.

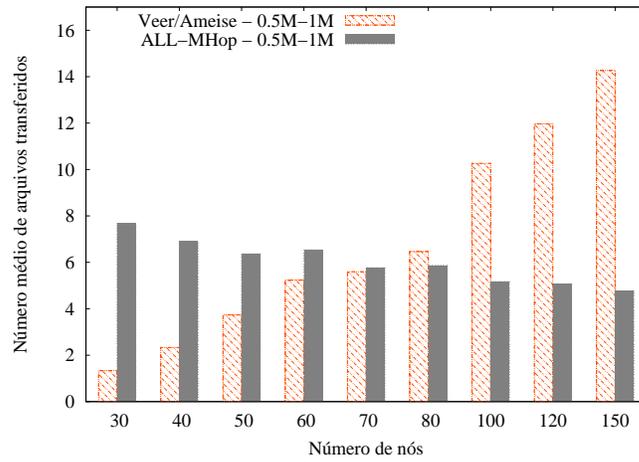
Número de nós	Veer	ALL-MHop
30	76.18%	65.58%
40	73.89%	49.76%
50	71.21%	41.86%
60	67.91%	32.71%
70	62.58%	27.54%
80	64.37%	23.17%
100	60.01%	16.68%
120	56.06%	12.58%
150	50.92%	9.45%

medida que o tamanho do arquivo aumenta, o desempenho de Veer/Ameise em relação ao protocolo ALL-MHop também melhora. Para arquivos médios e grandes, Figura 4.7(b) e Figura 4.7(c), o Veer/Ameise entrega mais arquivos a partir do cenário com 60 nós o que o torna mais vantajoso também para arquivos maiores em cenários mais densos, chegando a ser quase 5 vezes superior em alguns casos.

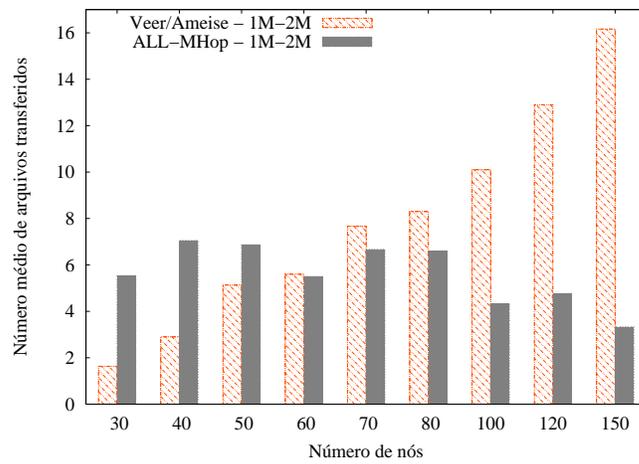
Verificou-se que a quantidade de colisões e as interferências ocasionadas pelas várias conexões FTP simultâneas aliadas à alta mobilidade dos nós levou a um baixo desempenho do protocolo ALL-MHop, principalmente em cenários mais densos. Implementou-se, então, o segundo protocolo baseado em comunicações por múltiplos saltos, FIRST-MHop, visando minimizar as conexões simultâneas e, então, poder melhor avaliar o desempenho da implementação do algoritmo de seleção Veer.

4.2.3 Ameise X FIRST-MHop

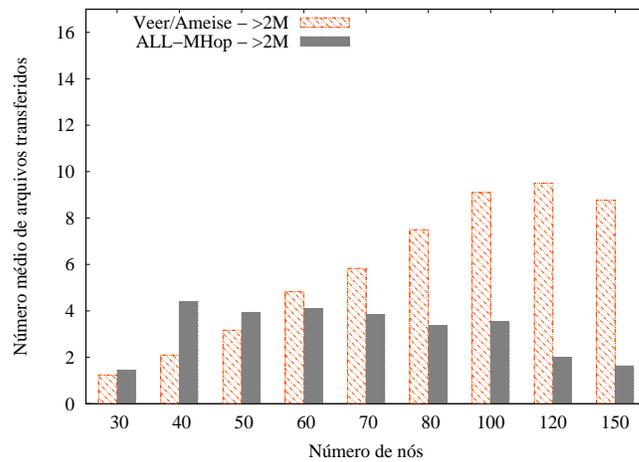
Nesta subseção comparou-se o desempenho do Ameise com o FIRST-MHop. Diferente do protocolo anterior, ALL-MHop, o protocolo FIRST-MHop não mais permite que



(a) 500kbytes a 1Mbyte.



(b) 1Mbyte a 2Mbytes.



(c) 2Mbytes a 3Mbytes.

Figura 4.7: Média de arquivos entregues por tamanho.

vários nós iniciem a transferência do arquivo simultaneamente. Em contrapartida, foram implementadas duas novas mensagens, `queryhit` e `sendme` ao protocolo antes que seja iniciada a conexão única para transferência do arquivo.

Para a simulação deste novo protocolo foram utilizados os mesmos arquivos de mobilidade gerados pelo Ghost. Apenas os processos aleatórios referentes à seleção dos arquivos disponibilizados, dos seus tamanhos, dos arquivos a serem solicitados e do tempo desta solicitação, foram efetuados novamente para cada nó. Os resultados obtidos para o protocolo Veer/Ameise também foram mantidos, uma vez que nenhuma adaptação a este protocolo foi implementada.

Para uma melhor comparação também foram mantidos os cenários no que se refere à quantidade de nós por rodada, de 30 a 150, e mantidas as 30 rodadas para cada cenário.

Cenário com 6 arquivos

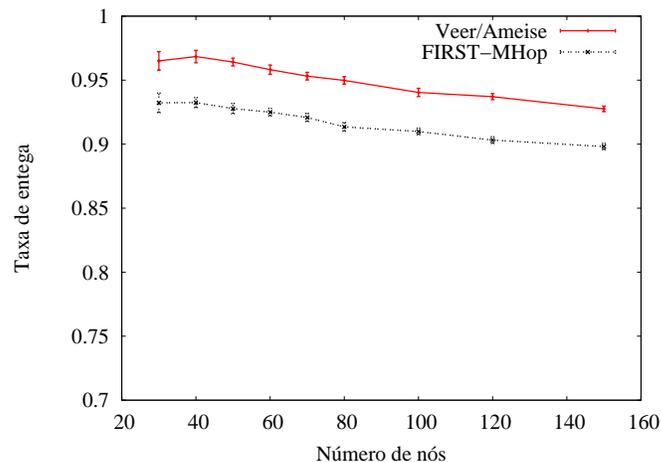


Figura 4.8: Taxa de entrega no cenário com 6 arquivos disponibilizados.

A Figura 4.8 demonstrou que a ausência da interferência pelas múltiplas conexões sobre múltiplos saltos, aproximou as curvas da métrica da taxa de entrega entre o FIRST-MHop e o Veer/Ameise. Já nesta primeira análise verifica-se que a implementação das duas mensagens foi mais vantajosa uma vez que melhorou o desempenho do protocolo de conexão sobre múltiplos saltos.

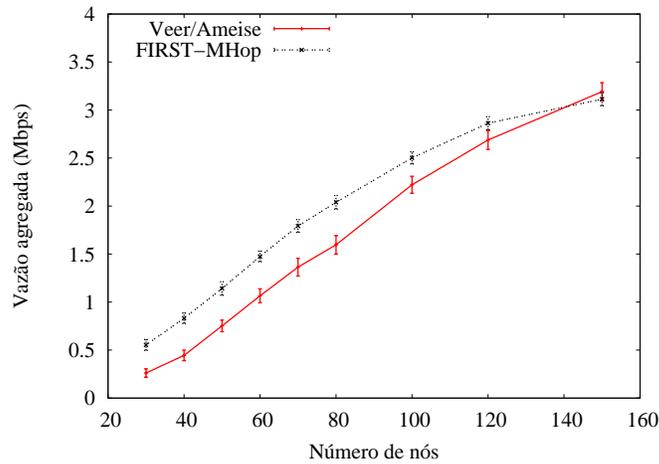
Apesar de ligeira vantagem apresentada pelo Veer/Ameise, cabe ressaltar que em ne-

nhum momento a taxa de entrega do Veer/Ameise ficou abaixo de 90%. Ainda assim, não se pode dizer o mesmo do protocolo FIRST-MHop, o qual apresenta, para cenário de 150 nós, a relação entre pacotes enviados e pacotes recebidos abaixo deste patamar.

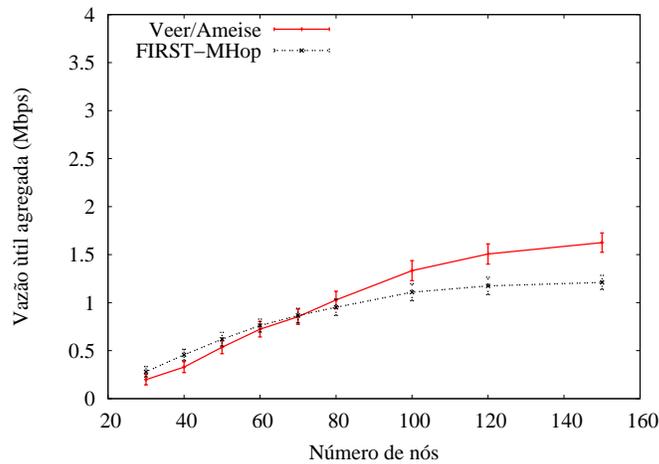
Esta métrica não deve ser, sozinha, utilizada para análise de desempenho dos protocolos. Analisando as demais métricas, a Figura 4.9 apresenta a comparação entre a vazão agregada, conforme Figura 4.9(a), medida em Mbps, e a vazão útil agregada, mostrada na Figura 4.9(b), também medida em Mbps.

O gráfico de vazão agregada, apresentado na Figura 4.9(a), também conforme esperado, apresenta curvas bem mais próximas pra ambos os protocolos, em comparação com a curva apresentada na subseção anterior. Esta diferença se deve ao fato do novo conceito para transferência de arquivos implementado no protocolo FIRST-MHop, que não mais efetua tantas transferências quantos os arquivos encontrados. Percebe-se que o Veer/Ameise apresenta uma curva crescente quase linear, ou seja, aparenta ser mais escalável para o aumento da quantidade de nós da rede. Por outro lado, o FIRST-MHop parece ser menos adaptável a cenários densos. Percebe-se um crescimento que acompanha a curva do Veer/Ameise até o cenário de 100 nós. A partir deste ponto a diferença entre ambas as curvas decresce até o ponto em que, pela primeira vez, a vazão agregada do Veer/Ameise tem maior desempenho que o protocolo de múltiplos saltos. Aqui cabe ressaltar que conexões mais longas em múltiplos saltos, visando a transferência do arquivo, aliadas à alta mobilidade dos nós e ao aumento do número de nós na rede, indicam uma degradação de desempenho dos protocolos em múltiplos saltos.

Pode se confirmar, por meio da análise do gráfico da métrica de vazão agregada útil conforme mostrado na Figura 4.9(b)), que em cenários mais densos o FIRST-MHop não apresenta um acréscimo claro na vazão útil agregada a partir do cenário com 100 nós. Em contrapartida, o Veer/Ameise apresenta uma taxa crescente nesta métrica, confirmando melhor escalabilidade. Percebe-se também que em cenários mais esparsos, a vantagem apresentada pelo protocolo de múltiplos saltos em cenários anteriores não se confirma. Em quase todos os cenários abaixo de 80 nós, excetuando-se o cenário com 40, a curva do Veer/Ameise e FIRST-MHop permanecem próximas, indicando um desempenho bem semelhante. Este fato que pode ser comprovado nos pontos onde as barras de erro se



(a) Vazão agregada.



(b) Vazão útil agregada.

Figura 4.9: Cenário com 6 arquivos disponibilizados.

sobrepõem.

A Tabela 4.3 apresenta a métrica de eficiência referente à utilização de banda para os dois protocolos, Veer/Ameise e F-MHop. Percebe-se que para esta métrica, para todas as quantidades de nós o Veer apresenta uma melhor relação entre as duas métricas, chegando a ser mais de 20 pontos percentuais a mais em alguns casos. Deve-se ressaltar que em nenhum dos casos a eficiência do Veer foi abaixo de 50%, enquanto que em apenas 4 cenários o FIRST-MHop apresentou um valor acima de 50%.

A partir de então é realizada a comparação entre os protocolos por meio da métrica de número médio de arquivos entregues por grupos de tamanhos. A subdivisão adotada

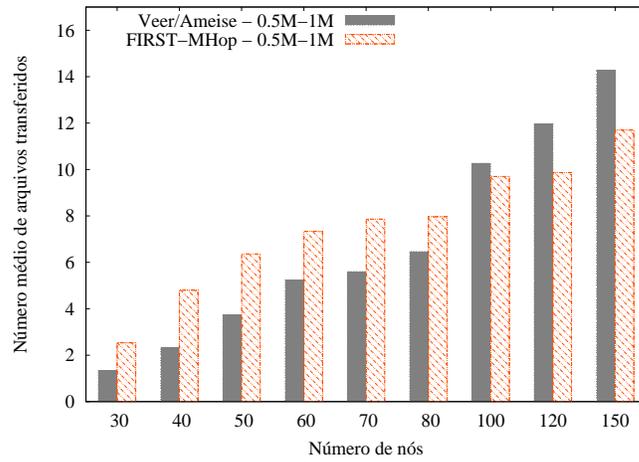
Tabela 4.3: Eficiência - Vazão X Vazão útil.

Número de nós	Veer	FIRST-MHop
30	76.18%	50.55%
40	73.89%	54.85%
50	71.21%	54.23%
60	67.91%	51.60%
70	62.58%	48.27%
80	64.37%	46.69%
100	60.01%	44.30%
120	56.06%	41.02%
150	50.92%	38.88%

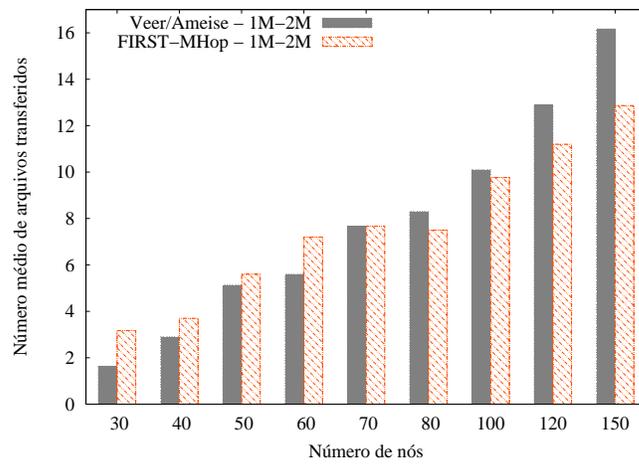
foi para arquivos menores que 1Mbyte, arquivos maiores que 1Mbyte e menores que dois Mbytes e arquivos maiores que 2Mbytes. Deve-se salientar que a seleção dos tamanhos dos arquivos disponibilizados pelos nós foi aleatoriamente distribuída entre 500Kbytes e 3MBytes.

Na Figura 4.10 são apresentadas as médias de arquivos entregues divididas em 3 grupos de acordo com o tamanho do arquivo. Percebe-se que para arquivos menores, conforme Figura 4.10(a), para os cenários até 80 nós o FIRST-MHop consegue entregar, em média, mais arquivos. Isto se deve ao fato de que conexões por múltiplos saltos são mantidas por um tempo no qual a transferência de arquivos pequenos seja finalizada. Para cenários acima de 100 nós, o aumento na quantidade de agendamentos de transferências de arquivos com a implementação do algoritmo Veer elimina a vantagem do protocolo comparativo.

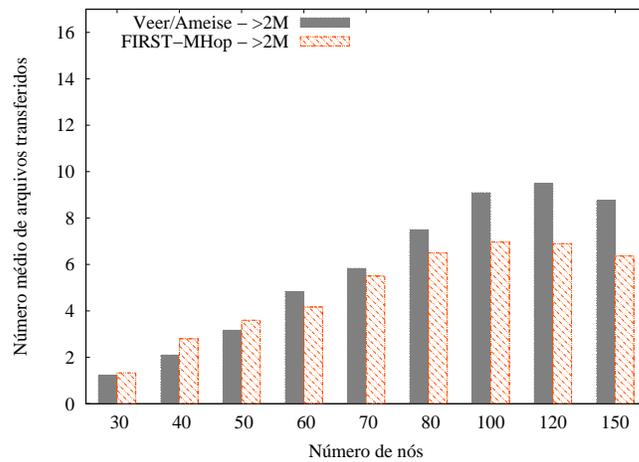
Percebe-se também que à medida que o tamanho do arquivo aumenta, o Veer/Ameise aumenta sua vantagem até em cenários mais esparsos, conforme pode ser visto na Figura 4.10(b), com um empate no cenário de 70 nós e melhor desempenho do Veer/Ameise nos cenários de 80 nós em diante. Neste ponto a difícil manutenção de conexões por múltiplos saltos é o fator determinante.



(a) 500kbytes a 1Mbyte.



(b) 1Mbyte a 2Mbytes.



(c) 2Mbytes a 3Mbytes.

Figura 4.10: Média de arquivos entregues por tamanho.

tiplos saltos começa a degradar o desempenho do FIRST-MHop. Em conexões de apenas um salto é possível entregar mais de um arquivo em média em relação ao seu comparativo, para o cenário mais denso, com 150 nós.

Para os arquivos maiores que 2Mbytes, Figura 4.10(c), a vantagem do Veer/Ameise começa a partir do cenário de 60 nós. Esta vantagem permanece até o cenário com 150 nós, salientando que a partir de 100 nós, o Ameise entrega, em média, mais de um arquivo por rodada. Percebe-se aqui, pela primeira vez, que o desempenho de ambos os protocolos apresentam uma queda para o cenário mais denso, 150 nós. Esta queda se dá pela quantidade de interferências geradas durante a transmissão de ambas, apresentando um sinal de sobrecarga na rede.

4.3 Resultados experimentais

De forma a apoiar os resultados de simulação, foram realizadas medidas de conectividade e vazão que demonstram que aplicações de transferência de arquivos são viáveis em redes veiculares. O experimento real foi elaborado no Campus da Ilha do Fundão da UFRJ [44].

Foram utilizados no experimento 2 veículos, 2 computadores portáteis modelo IBM T42 com interface sem fio 802.11b/g embutida e 2 interfaces PCMCIA Linksys WPC54G, baseadas no *chipset* da Atheros (IEEE 802.11a/b/g). Os computadores portáteis permaneceram com o passageiro do veículo e nenhuma antena externa foi utilizada. Foi usado o Linux como sistema operacional com versão do kernel 2.6.22-2-686 e o driver Madwifi versão 0.9.3.3. Visando enviar volume de dados e medir a qualidade do enlace, foi utilizado o Iperf versão 2.0.2.

O experimento foi realizado em uma rua do campus da UFRJ com 400 m de comprimento, mostrada na Figura 4.11. Os carros iniciavam suas trajetórias ao mesmo tempo, ambos nas extremidades da rua e em lados opostos, pontos marcados com A e B da foto de satélite. A movimentação dos veículos é em direção contrária e com velocidades iguais, até que alcancem a outra extremidade da rua. Durante o trajeto o cliente Iperf

envia a massa de dados, e o servidor Iperf contabilizava o total de dados recebidos em cada 500 ms, valor mínimo suportado pelo Iperf. Foram usadas três velocidades para os veículos, 20km/h, 40km/h e 60km/h. Para cada velocidade foram efetuadas 10 rodadas.

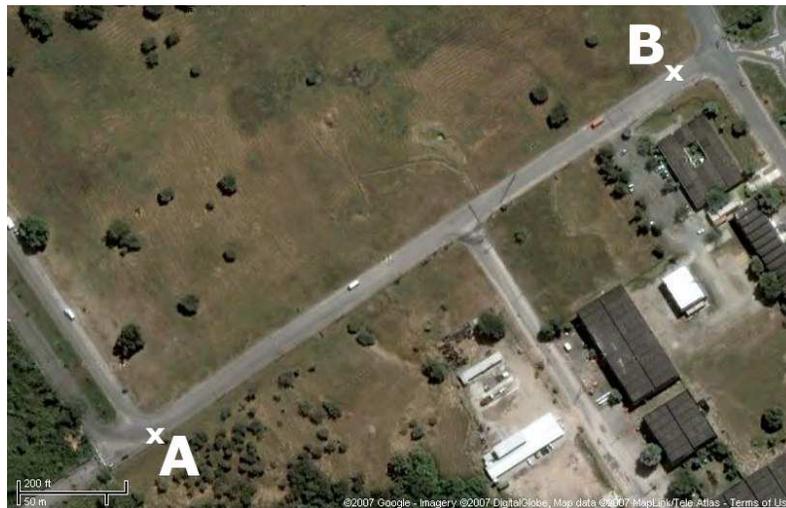


Figura 4.11: Visão do satélite da rua de 400 metros usada para o experimento. Foto reproduzida do GoogleEarth.

A Tabela 4.4 apresenta a média e o desvio-padrão (σ) do total de dados transferidos utilizando o TCP. Os resultados mostrados na tabela demonstram que é possível obter vazões significativas nos enlaces entre veículos, mesmo considerando equipamentos comumente encontrados no comércio e sem a utilização de antena externa ao veículo. Em particular, verifica-se que as taxas de transferência são aceitáveis para aplicações par-a-par, dado o contexto no qual a aplicação seria executada. É interessante notar que os resultados obtidos representam conexões diretas entre nós.

Tabela 4.4: Média do total de dados transferidos sobre TCP com pacotes de 500 Bytes.

Velocidade	Quantidade de dados
20 km/h	1.6 MB, $\sigma=0.89$ MB
40 km/h	0.4 MB, $\sigma=0.22$ MB
60 km/h	0.07 MB, $\sigma=0.13$ MB

A Tabela 4.5 apresenta a média e o desvio padrão do total de dados transferidos sobre UDP. Estas medidas foram tiradas variando a velocidade dos carros e o tamanho do

Tabela 4.5: Média do total de dados transferidos sobre UDP e IEEE 802.11g.

	pacotes de 150 bytes	pacotes de 500 bytes	pacotes de 1.460 bytes
20 km/h	4.9 MB, $\sigma=0.89$ MB	9.2 MB, $\sigma=1.23$ MB	10.8 MB, $\sigma=3.36$ MB
40 km/h	1.9 MB, $\sigma=0.38$ MB	4.6 MB, $\sigma=0.51$ MB	4.8 MB, $\sigma=1.64$ MB
60 km/h	1.6 MB, $\sigma=0.41$ MB	3.5 MB, $\sigma=1.15$ MB	2.8 MB, $\sigma=1.66$ MB

pacote. Ressalta-se que a velocidade de ambos os carros em cada rodada é a mesma. Percebe-se na tabela que à medida que o tamanho do pacote aumenta, a quantidade de dados transferidos também aumenta. Outro ponto interessante é que à medida que a velocidade aumenta a quantidade de dados transferidos diminui. Com exceção da velocidade de 60 km/h na qual a quantidade de dados transmitidos diminuiu ao aumentar o tamanho do pacote, percebe-se um compromisso entre velocidade, tamanho de pacote e quantidade de dados transmitidos.

Percebe-se também que a massa de dados transferida para o mesmo tamanho de pacote entre TCP e UDP apresentam diferenças. É verificado que o UDP consegue transferir mais dados para todas as velocidades medidas. Ressalta-se que deste fato observado, uma direção identificada como trabalho futuro é utilizar o protocolo UDP para a transferência de arquivos.

O experimento também teve como contribuição, demonstrar a possibilidade de, utilizando equipamentos facilmente encontrados no mercado, implementar um rede cooperativa para troca de dados.

Os experimentos demonstraram que, mesmo durante o curto tempo de contato, pois os veículos vinham em direções opostas, massas de dados razoáveis podem ser transmitidas. Isto demonstra a viabilidade de uma aplicação P2P de compartilhamento de conteúdo para troca de arquivos utilizando o algoritmo de seleção de pares proposto, Veer.

Capítulo 5

Conclusões

AS redes ad hoc veiculares, ou VANETs, são um caso especial das redes móveis ad hoc (*Mobile Ad Hoc NETWORKS - MANETs*) diferenciadas apenas na natureza dos nós que as compõem. VANETs são compostas de veículos automotores embarcados com um dispositivo de comunicação sem fio, e que possuem a capacidade de se comunicarem entre si ou com equipamentos posicionados à margem das ruas e/ou estradas. Ressalta-se que a alta mobilidade dos nós e os cenários dinâmicos são especificidades destas redes que geram desafios nas áreas mais diversas, mesmo que as trajetórias sejam bem definidas. Essas redes veiculares vêm chamando atenção de montadoras de veículos, órgãos governamentais e comunidade acadêmica, mediante a demanda de novos usuários e da variedade de aplicações que podem ser oferecidas. As aplicações propostas vão desde segurança do veículo, informando possíveis obstáculos a tempo do condutor tomar as precauções necessárias até entretenimento, permitindo troca de arquivos como músicas e filmes. Deve-se atentar que dada a natureza dos nós que pertencem a estas redes, a comunicação veicular apresenta diferentes desafios, como por exemplo, o projeto de um protocolo de roteamento que consiga se adequar às especificidades de uma VANET e viabilizar os serviços oferecidos.

Por outro lado, voltando às redes cabeadas, os serviços oferecidos para usuários de sistemas P2P vêm apresentando um forte crescimento nos últimos anos. Ressalta-se que este crescimento é impulsionado por algumas características dos sistemas, como exemplo, a facilidade de adesão ao serviço, permitindo o seu funcionamento em uma estrutura

distribuída, sem a necessidade de equipamentos centralizadores. Nada mais natural que, dadas estas características, propostas de utilização de sistemas P2P em VANETs foram realizadas, tendo sido objeto de estudo nesta dissertação.

Neste trabalho, foi proposto um algoritmo para seleção de pares em redes *ad hoc* veiculares para sistema P2P. O Veer possibilita o agendamento prévio dos contatos para aumentar as chances de sucesso das comunicações. Assim, a trajetória do veículo e o tempo suficiente de contato entre dois nós são levados em conta para a troca de arquivos com sucesso em aplicações par-a-par. A idéia básica deste algoritmo é agendar transmissões apenas entre vizinhos, evitando a comunicação sem fio por múltiplos saltos, que possui menores chances de sucesso em um cenário com alta mobilidade.

O desempenho do Veer foi testado via simulações em comparação com dois modelos de transferência de arquivos por conexões de múltiplos saltos. As simulações demonstraram que o agendamento prévio é mais vantajoso e faz com que as transferências de arquivos sejam concluídas mais eficientemente para arquivos de diferentes tamanhos. Aqui ressalta-se que o fato de arquivos de música e pequenos vídeos possuem normalmente tamanho maior que 2Mbytes. Este fato torna o Veer mais adequado a sistemas C2C-CS para estes tipos de arquivos.

O protocolo Ameise que implementou algoritmo Veer de seleção de pares apresentou desempenho superior ao protocolo FIRST-MHop para todas as métricas analisadas, em que foi levada em consideração a transferência do arquivo, em cenários mais densos. Verificou-se também que houve, por meio da utilização do algoritmo proposto, um melhor aproveitamento dos recursos disponíveis da rede. Os algoritmos comparativos apresentaram um grande desperdício na transferência de arquivos, uma vez que estes modelos conseguem transferir mais dados, com menos arquivos. A transferência de arquivos no modelo de apenas um salto foi mais eficaz em cenários mais densos, mais próximo em um cenário urbano.

Comparando apenas os dois modelos de conexões por múltiplos saltos, ALL-MHop e FIRST-MHop, conclui-se que, retiradas as interferências obtidas pelas múltiplas conexões simultâneas no protocolo ALL-MHop, o desempenho do FIRST-MHop teve melhor desempenho para as métricas de taxa de entrega de pacotes e, apesar de uma vazão agre-

gada menor, obteve melhor eficiência na relação entre a vazão agregada e a vazão útil agregada.

O Veer também apresentou melhor escalabilidade, apresentando um desempenho crescente mesmo em face das alterações de configurações visando atingir a um grau maior de saturação da rede. À medida que a quantidade de arquivos disponibilizados aumentava e a quantidade de nós transmitindo também, a implementação do algoritmo Veer para seleção de pares manteve-se mais vantajosa em relação aos demais modelos.

O compromisso do emprego do VEER é a possibilidade do aumento da latência, visto que o contato é aguardado para o início da transferência do arquivo desejado. Com o algoritmo de múltiplos saltos isso não ocorre. Porém, em redes veiculares, essa latência é tolerável, visto que a aplicação de transferência de arquivos proposta para implementar o Veer não é de tempo real.

Foi realizada uma prova de conceito experimental para mostrar que a transferência de arquivos em redes veiculares é possível, inclusive em altas velocidades. A partir de medidas reais, mostrou-se que mesmo considerando tempos de contato curtos, por exemplo, quando dois veículos se cruzam, e equipamentos disponíveis no mercado, é possível transferir arquivos de tamanhos tipicamente encontrados em aplicações P2P na Internet.

5.1 Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros, pretende-se analisar o desempenho do Veer em novos cenários. Para o caso de cenários com congestionamento, por exemplo, espera-se que o modelo de múltiplos saltos seja mais vantajoso no que se refere à transferência de arquivos, porque a baixa mobilidade dos veículos pode diminuir o número de possíveis contatos. Desta forma, pode-se investigar um algoritmo adaptativo que identifique condições adversas de trânsito e utilize modelos diferentes para transferência de arquivos. Pretende-se também implementar um esquema de distribuição de quantidade de arquivos diferentes para cada nó participante da rede. Outro ponto é implementação de um esquema de divisão dos arquivos disponibilizados em fragmentos, como fazem algumas aplicações P2P

da Internet, visando verificar como a rede se comporta para o processo de transferência do arquivo.

Após analisar os resultados obtidos por meio do experimento, pretende-se também avaliar o Veer após um ajuste no mecanismo de controle de congestionamento do protocolo TCP e reduzir o tempo de conexão entre dois pares da rede. Deve-se verificar também a utilização do protocolo de transferência de arquivos baseado no protocolo UDP [45], uma vez que este protocolo se mostrou mais eficaz no que se refere à transferência de dados em períodos relativamente curtos de contato entre os nós participantes de uma VANET.

Finalmente, a implementação do Veer em um protótipo experimental também deve ser considerada, visando verificar o seu funcionamento em um ambiente real. Esta implementação tem como objetivo complementar as medidas que foram iniciadas no experimento citado na Seção 4.3 usando uma aplicação de transferência de arquivos.

Referências Bibliográficas

- [1] CAR 2 CAR COMMUNICATION CONSORTIUM. Increase road traffic safety and efficiency by means of inter-vehicle communications. <http://www.car-to-car.org/> [Online], 2005.
- [2] CAMPISTA, M. E. M., MORAES, I. M., ESPOSITO, P. M., AMODEI JR., A., DE OLIVEIRA CUNHA, D., COSTA, L. H. M. K., E DUARTE, O. C. M. B. The ad hoc return channel: a low-cost solution for Brazilian interactive digital TV. *IEEE Communications Magazine* 45, 1 (janeiro de 2007), 136–143.
- [3] RUBINSTEIN, M., MORAES, I. M., CAMPISTA, M. E. M., COSTA, L. H. M. K., E DUARTE, O. C. M. B. *Mobile and Wireless Communications Networks*. Springer-Verlag, 2006, pág. 1–34.
- [4] LEE, U., PARK, J.-S., YEH, J., PAU, G., E GERLA, M. Codetorrent: Content distribution using network coding in VANET. Em *ACM Mobishare* (setembro de 2006).
- [5] TALEB, T., SAKHAEI, E., JAMALIPOUR, A., HASHIMOTO, K., KATO, N., E NEMOTO, Y. A stable routing protocol to support its services in vanet networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 56, 6 (novembro de 2007), 3337–3347.
- [6] CARTALK 2000. Safe and comfortable driving based upon inter-vehicle communication. <http://www.cartalk2000.net/> [Online], 2000.
- [7] FLEETNET - INTERNET ON THE ROAD. Promote the development of such an inter-vehicle communication system. <http://www.et2.tu-harburg.de/fleetnet/index.html> [Online], 2000.

- [8] JIANG, D., TALIWAL, V., MEIER, A., HOLFELDER, W., E HERRTWICH, R. Design of 5.9 ghz DSRC-based vehicular safety communication. *Wireless Communications, IEEE [see also IEEE Personal Communications]* 13, 5 (2006), 36–43.
- [9] TASK GROUP P. IEEE 802.11p wireless access for vehicular environments. Draft Standard, <http://grouper.ieee.org/groups/802/11/>, 2004.
- [10] WISCHHOF, L., EBNER, A., E ROHLING, H. Information dissemination in self-organizing intervehicle networks. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 6, 1 (março de 2005), 90–101.
- [11] RYBICKI, J., SCHEUERMANN, B., KIESS, W., LOCHERT, C., FALLAHI, P., E MAUVE, M. Challenge: peers on wheels - a road to new traffic information systems. Em *MobiCom '07: Proceedings of the 13th annual ACM international conference on Mobile computing and networking* (New York, NY, USA, 2007), pág. 215–221.
- [12] EPSZTEJN, G. Proposta de uma arquitetura par-a-par organizada por Índices, 2007. Master Science Thesis, Advisor - Otto Carlos Muniz Bandeira Duarte, COPPE/PEE/UFRJ.
- [13] Gnutella protocol development. Disponível: <http://rfc-gnutella.sourceforge.net/index.html> [Online - Acessado em 15 de março de 2008], 2003.
- [14] FERNANDES, N. C., MOREIRA, M. D. D., VELLOSO, P. B., COSTA, L. H. M. K., E DUARTE, O. C. M. B. Ataques e mecanismos de segurança em redes ad hoc. Em *Minicursos do Simpósio Brasileiro em Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais (SBSEG 2006)* (agosto de 2006), pág. 49–102.
- [15] BRAGA, R. B., TAVEIRA, D. M., E DUARTE, O. C. M. B. Mapa: Mecanismo de avaliação e punição de nós egoístas em redes *ad hoc*. Em *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (Aceito para publicação no SBRC 08)* (maio de 2008), SBC.
- [16] HADALLER, D., KESHAV, S., BRECHT, T., E AGARWAL, S. Vehicular opportunistic communication under the microscope. Em *5th International Conference*

- on *Mobile Systems, Applications and Services (ACM MobiSys)* (junho de 2007), pág. 206–219.
- [17] NANDAN, A., DAS, S., PAU, G., GERLA, M., E SANADIDI, M. Y. Co-operative downloading in vehicular ad-hoc wireless networks. Em *IEEE Wireless On demand Network Systems and Services (WONS)* (2005).
- [18] CHEN, W., CHENNIKARA-VARGHESE, J., LEE, J., CAI, S., E HIKITA, T. Dynamic local peer group organizations for vehicle communications. *Mobile and Ubiquitous Systems - Workshops, 2006. 3rd Annual International Conference* (julho de 2006), 1–8.
- [19] PERKINS, C. E., E BHAGWAT, P. Highly dynamic destination-sequenced distance vector routing (DSDV) for mobile computers. Em *SIGCOMM '94: Proceedings of the Conference on Communications Architecture, Protocol and Applications* (1994), ACM, pág. 234–244.
- [20] CAVALCANTI, S. R., CAMPISTA, M. E. M., ABDESSLEM, F. B., COSTA, L. H. M. K., E DE AMORIM, M. D. Veer: Um algoritmo de seleção de pares em redes *ad hoc* veiculares. Em *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (Aceito para publicação no SBRC 08)* (maio de 2008), SBC.
- [21] SCHODER, D., FISCHBACH, K., E SCHMITT, C. *Peer-to-Peer Computing: The Evolution of a Disruptive Technology*. Idea Group Publishing, 2005, cap. I - Core Concepts in Peer-to-Peer Networking.
- [22] BARCELLOS, M. P., E GASPARY, L. P. Segurança em redes p2p: Princípios, tecnologias e desafios. Em *Minicursos do Simpósio Brasileiro em Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais (SBSEG 2006)* (agosto de 2006).
- [23] Napster web site. Disponível: <http://www.napster.com> [Online - Acessado em 18 de março de 2008].
- [24] Bittorrent web site. Disponível: <http://www.bittorrent.com> [Online - Acessado em 18 de março de 2008].

- [25] WELLENS, M., WESTPHAL, B., E MAHONEN, P. Performance evaluation of IEEE 802.11-based wlans in vehicular scenarios. *Vehicular Technology Conference, 2007. VTC2007-Spring. IEEE 65th* (abril de 2007), 1167–1171.
- [26] AHMED, D. T., E SHIRMOHAMMADI, S. Design issues of peer-to-peer systems for wireless ad hoc networks. *Sixth International Conference on Networking, 2007 (ICN '07)*. (abril de 2007), 26–31.
- [27] OTT, J., E KUTSCHER, D. Drive-thru internet: IEEE 802.11b for ‘automobile’ users. *INFOCOM 2004. Twenty-third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies I* (março de 2004), 373–373.
- [28] NAUMOV, V., BAUMANN, R., E GROSS, T. An evaluation of inter vehicle ad hoc networks based on realistic vehicular traces. Em *MobiHoc* (maio de 2006).
- [29] PERKINS, C. E., M.BELDING-ROYER, E., E DAS, R. S. *Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing*. Request for Comments: 3561, julho de 2003.
- [30] KARP, B., E KUNG, H. T. GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks. Em *MobiCom* (2000).
- [31] GRANELLI, F., BOATO, G., E KLIAZOVICH, D. MORA: a movement-based routing algorithm for vehicle ad hoc networks. Em *IEEE Workshop on Automotive Networking and Applications (AutoNet)* (São Francisco, EUA, dezembro de 2006).
- [32] MENOVAR, H., LENARDI, M., E FILALI, F. Improving proactive routing in VANETs with the MOPR movement prediction framework. *International Conference on Telecommunications, 2007. (ITST'07)* (junho de 2007), 1–6.
- [33] CLAUSEN T.H., HANSEN G., C. L., E G., B. The optimized link state routing protocol, evaluation through experiments and simulation. Em *IEEE Symposium on Wireless Personal Mobile Communication* (setembro de 2001).
- [34] DUCOURTHIAL, B., KHALED, Y., E SHAWKY, M. Conditional transmissions: Performance study of a new communication in VANET. *IEEE Transaction on Vehicular Technology* (novembro de 2007).

- [35] BENZAID, M., MINET, P., E AL AGHA, K. Integrating fast mobility in the olsr routing protocol. *4th International Workshop on Mobile and Wireless Communications Network, 2002.* (2002), 217–221.
- [36] KO, Y.-B., E VAIDYA, N. Geocasting in mobile ad hoc networks: location-based multicast algorithms. *Second IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, 1999. Proceedings. WMCSA '99.* (fevereiro de 1999), 101–110.
- [37] NAVAS, J. C., E IMIELINSKI, T. GeoCast – geographic addressing and routing. Em *Mobile Computing and Networking* (1997), pág. 66–76.
- [38] DAIMLER CHRYSLER. Calling All Cars. Relatório técnico, Project CarTALK 2000, 2001. <http://www.cartalk2000.net/>.
- [39] CHEN, W., E CAI, S. Ad hoc peer-to-peer network architecture for vehicle safety communications. *IEEE Communications Magazine* 43, 4 (abril de 2005).
- [40] WISITPONGPHAN, N., BAI, F., MUDALIGE, P., SADEKAR, V., E TONGUZ, O. Routing in sparse vehicular ad hoc wireless networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* 25, 8 (outubro de 2007), 1538–1556.
- [41] HOH, C., E HWANG, R. P2P file sharing system over MANET based on swarm intelligence: A cross-layer design. *WCNC 2007* (2007).
- [42] THE VINT PROJECT. The network simulator (NS-2). Disponível: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/> [Online], 2007.
- [43] LEGENDRE, F., BORREL, V., DE AMORIM, M. D., E FDIDA, S. Modeling mobility with behavioral rules: the case of incident and emergency situations. Em *Asian Internet Engineering Conference (AINTEC)* (2006).
- [44] ABDESSLEM, F. B., CAVALCANTI, S. R., CAMPISTA, M. E. M., DOS SANTOS ALVES, R., COSTA, L. H. M. K., RUBINSTEIN, M. G., DE AMORIM, M. D., E DUARTE, O. C. M. B. Measuring the capacity of in-car vehicular networks. Relatório técnico, 2008.

- [45] ZHANG, J., E MCLEOD, R. A UDP-based file transfer protocol with flow control using fuzzy logic approach. *Electrical and Computer Engineering, 2003. IEEE CCECE 2003. Canadian Conference on 2* (maio de 2003), 827–830.